

PUESTA A PUNTO DE LA CÁMARA SALINA Y EQUIPO DE DESGASTE POR
ABRASIÓN SEGÚN NORMAS TÉCNICAS ASTM B117 Y ASTM G-65,
UBICADOS EN EL LABORATORIO DE MOLINOS DE LA UNIVERSIDAD LIBRE

CARLOS ALBERTO RAMÍREZ LEÓN

CRISTIAN ANDRÉS LEÓN ARCE

UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2017

PUESTA A PUNTO DE LA CÁMARA SALINA Y EQUIPO DE DESGASTE POR
ABRASIÓN SEGÚN NORMAS TÉCNICAS ASTM B117 Y ASTM G-65,
UBICADOS EN EL LABORATORIO DE MOLINOS DE LA UNIVERSIDAD LIBRE

CARLOS ALBERTO RAMÍREZ LEÓN

CRISTIAN ANDRÉS LEÓN ARCE

Proyecto de Grado

Director de proyecto, Mauricio Alejandro Sierra Cetina

Ingeniero Mecánico

Docente Investigador, Universidad Libre de Colombia

UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C

2017

Nota de aceptación

Director Comité de Proyectos de Grado

Jurado

Jurado

Bogotá D.C; febrero 23 de 2017

TABLA DE CONTENIDO

1. TITULO DEL PROYECTO	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
3.1 EQUIPO DE DESGASTE POR ABRASIÓN.....	4
3.2 CÁMARA SALINA	9
4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN.....	11
5. OBJETIVOS.....	12
5.1 OBJETIVO GENERAL	12
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
6. ESTADO DEL ARTE	13
7. MARCO CONCEPTUAL.....	16
8. MARCO TEÓRICO	18
8.1 CORROSIÓN	18
8.1.2 Tipos de corrosión.	20
8.2 ENSAYOS DE CORROSIÓN	21
8.2.1 Ensayo en Condiciones naturales.	21
8.2.2 Ensayos de Laboratorio.	23
8.3 Cámara Salina.....	24
8.3.1 Análisis de los resultados en pruebas de corrosión.	25
8.4 TRIBOLOGÍA	26
8.4.1 Desgaste abrasivo..	27
8.4.2 Medición de desgaste.	28
.....	28
8.4.3 Principales parámetros en las pruebas de desgaste.	30
8.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	31
8.5.1 Componentes Críticos De Un Sistema..	31
8.5.2 Definición de Criticidad...	32
8.5.3 Matriz De Criticidad.....	32
8.5.4 Elementos a tener en cuenta para determinar la criticidad.	33

9	MARCO LEGAL Y NORMATIVO.....	34
10	DISEÑO METODOLÓGICO.....	35
10.1	CÁMARA SALINA	37
10.2	EQUIPO DE DESGASTE POR ABRASIÓN.....	38
10.3	REPETITIVIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN LOS ENSAYOS	39
10.4	CALIBRACIÓN	40
10.5	METODOLOGÍA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO	40
11	EQUIPO DE CÁMARA SALINA PARA EL ESTUDIO DE LA CORROSIÓN.....	43
11.1	DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DE CÁMARA SALINA.....	44
11.1.1	Línea de Suministro de Solución.	44
11.1.2	Línea de Suministro de Aire.....	44
11.1.3	Atomizador:.....	44
11.1.4	Bomba Peristáltica.	45
11.1.5	Racores..	45
11.1.6	Válvula Solenoide.	46
11.1.7	Resistencia.	47
11.1.8	Drenaje de la cámara.....	47
11.1.9	Manómetro de Presión de Aire..	47
11.1.10	Tanque Humidificador.....	48
11.2	DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE UN ENSAYO EN CÁMARA SALINA	48
11.2.1	ALCANCE DE LA NORMA ASTM B117 AL EJECUTAR EL ENSAYO ...	49
11.3	CONDICIONES INICIALES DE LA CÁMARA SALINA	49
11.3.1	Problemas detectados a consecuencia de las fallas.....	51
11.4	MODO DE OPERACION DEL EQUIPO.....	52
11.5	VALIDACIÓN DE FUNCIONAMIENTO	55
11.6	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO EN CÁMARA SALINA.....	59
11.6.1	CRITICIDAD DE COMPONENTES DE LA CÁMARA SALINA.....	60
11.6.2	TAREAS DE MANTENIMIENTO EN CÁMARA SALINA.....	61
12	EQUIPO DE DESGASTE POR ABRASIÓN	65
12.1	DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DEL ENSAYO DE ABRASIÓN	65

12.1.1 ENSAYOS DE ABRASIÓN EN CONDICIONES OPERACIONALES.....	65
12.1.2 VARIABLES QUE INCIDEN EN EL DESGASTE	67
12.2 RECONSTRUCCIÓN Y MEJORAS SOBRE LA MÁQUINA DE ABRASIÓN	67
12.2.1 Tolva La norma ASTM G65,	67
12.2.2 Brazo	71
12.2.3 Porta Probetas.....	72
12.1.4 Boquilla.....	73
12.2.5 Rueda Vulcanizada.....	73
12.3 COMPONENTES ELÉCTRICOS DEL EQUIPO Y MECÁNICOS.....	74
12.3.1 Motor eléctrico con sensor óptico..	74
12.3.2 Variador de Velocidad.....	75
12.4 Rodamiento Eje de Salida.:	76
12.5 FACTORES DE CRITICIDAD	77
12.6 RECONOCIMIENTO DEL EQUIPO DE ABRASIÓN	78
12.7 VALIDACIÓN DE FUNCIONAMIENTO	84
12.8 TAREAS DE MANTENIMIENTO EQUIPO DE ABRASIÓN	86
12.9 MODO DE OPERAR EL EQUIPO DE ABRASIÓN	88
13 CONCLUSIONES	90
14 RECOMENDACIONES	91
15 BIBLIOGRAFÍA	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Tolva del equipo de abrasión para almacenar arena.....	5
Figura 2 Brazo del equipo de abrasión fuera de la norma.	6
Figura 3 Porta probetas del equipo de abrasión fuera de servicio.....	6
Figura 4 Boquilla del equipo de abrasión fuera de norma.....	7
Figura 5 Vista del habitáculo del equipo de desgaste por abrasión.	8
Figura 6 Panel de control del variador de velocidad.	8
Figura 7 Vista general del variador de Velocidad.....	9
Figura 8 Compresor de la cámara salina e identificación.	10
Figura 9 Esquema de oxidación.....	19

Figura 10 Cámara salina para el estudio de la corrosión de la Universidad Libre.	25
Figura 11 Desgaste abrasivo con material partículas entre las superficies de contacto.	27
Figura 12 Esquema del ensayo de abrasión según ASTM G65.	29
Figura 13 Equipo de desgaste por abrasión de la Universidad Libre.	31
Figura 14 Diseño Metodológico	36
Figura 15 Repetitividad y Reproducibilidad.	40
Figura 16 Esquema De La Cámara Salina	43
Figura 17 Atomizador.	44
Figura 18 Funcionamiento Bomba Peristáltica	45
Figura 19 Tipos de racores	45
Figura 20 Válvula Solenoide	46
Figura 21 Empaque de la Válvula	46
Figura 22 Funcionamiento Válvula Solenoide.	46
Figura 23 Resistencia de la cámara salina	47
Figura 24 Manómetro.	47
Figura 25 Tanque Humificador.	48
Figura 26 Fisuras en las tuberías de la cámara.	50
Figura 27 Conexiones en mal estado.	50
Figura 28 Suciedad en Drenaje	51
Figura 29 Pantalla al encender la Cámara Salina.	53
Figura 30 Pantalla de Menú Principal	53
Figura 31 Pantalla Configuración.	54
Figura 32 Pantalla Astm B117	55
Figura 33 Empaque de la válvula Solenoide.	62
Figura 34 Limpieza de las líneas de Solución Salina.	63
Figura 35 Bomba Peristáltica	64
Figura 36 Esquema de operación del equipo de abrasión Fuente: Autores del proyecto.	66
Figura 37 Tolva inicial del equipo de abrasión, capacidad de arena fuera de la norma.	68
Figura 38 Modificación y fabricación de la tolva con la capacidad de la norma.	70
Figura 39 Brazo inicial y nuevo brazo fabricado.	71
Figura 40 Brazo y soporte para las pesas.	71
Figura 41 Fabricación de porta probetas.	72
Figura 42 Flujo laminar de la boquilla.	73
Figura 43 Dureza de 60 Shores en rueda vulcanizada.	74
Figura 44 Plaqueta de identificación del motor.	75
Figura 45 Variador de Velocidad Siemens.	75

Figura 46 Probetas para el ensayo de Abrasión.....	78
Figura 47 Diagrama de cuerpo libre del brazo.....	79
Figura 48 Tablero de control.....	80
Figura 49 Display de control.....	82
Figura 50 Muestra típica de la huella que queda sobre la probeta. Izquierda Correcta. Derecha Incorrecta.....	83
Figura 51 Pruebas Iniciales en el Equipo de Abrasión.....	85
Figura 52 Pruebas luego de las modificaciones.....	86
Figura 53 Programación de RPM en el Display.....	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros para el ensayo de desgaste por abrasión, según norma ASTM G65.....	29
Tabla 2 Matriz de Criticidad.....	32
Tabla 3 Variables y Niveles involucrados en el Diseño Factorial.....	38
Tabla 4 Resultados; “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y MICRO-ESTRUCTURAL DE UNA FUNDICIÓN DE HIERRO ALEADO “.....	56
Tabla 5 Resultados: “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN EN LOS RECUBRIMIENTOS 140MXC-560AS, “.....	58
Tabla 6 Resultados, “ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN MEDIANTE CÁMARA SALINA EN RECUBRIMIENTOS “.....	59
Tabla 7 Ponderación.....	60
Tabla 8 Criticidad de componentes de Cámara Salina.....	61
Tabla 9 Cuadro de factor de vida útil de fabricante Seiko.....	76
Tabla 10 Criticidad de Componentes de Equipo de Abrasión.....	78
Tabla 11 Parámetros del Ensayo de Abrasión.....	79
Tabla 12 Resultados: “OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO DE UNA ALEACIÓN “.....	84

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Velocidad de penetración de la corrosión.....	26
Ecuación 2 Diseño factorial.....	38
Ecuación 3 Volumen de la Tolva.....	68
Ecuación 4 Volumen del Cilindro.....	68
Ecuación 5 Volumen del Cono.....	69
Ecuación 6 Altura final de la tolva.....	69
Ecuación 7 Vida Útil del Rodamiento.....	76

Ecuación 8 Formula del Peso W.....	79
Ecuación 9 Sumatoria de fuerzas en Y, sumatoria de momentos.....	80
Ecuación 10 Volumen Perdido.....	83

ANEXOS

ANEXO A CÁMARA SALINA.....	95
ANEXO B EQUIPO DE ABRASIÓN.....	110
ANEXO C LISTA DE CHEQUEO.....	120

1. TITULO DEL PROYECTO

Puesta a punto de la cámara salina y equipo de desgaste por abrasión según normas técnicas ASTM B117 y ASTM G-65, ubicados en el laboratorio de molinos de la Universidad Libre.

2. INTRODUCCIÓN

La Universidad Libre de Colombia sede Bosque Popular, cuenta en las instalaciones del laboratorio de molinos, con un equipo de desgaste abrasivo, para el análisis de los materiales que se ven sometidos a altas condiciones de desgaste en medios abrasivos, es el caso de las máquinas de la industria cementera, debido a que sus equipos de trabajo están en condiciones de operación de fricción constante, en la trituración los minerales para la producción del cemento, el equipo de desgaste abrasivo, permite estudiar en los diferentes materiales usados en la ingeniería, su comportamiento al fenómeno físico de la fricción, la fricción se genera en cualquier condición de contacto entre dos superficies, en este caso el análisis se realiza sobre elementos sólidos en especial metales.

Tanto el equipo de abrasión como el ensayo de abrasión, deben cumplir con unos parámetros, para que las pruebas de desgaste abrasivo tengan validez y demuestren realmente el comportamiento de un material en condiciones de fricción en un medio abrasivo; estos parámetros están establecidos según la norma ASTM G 65, se exponen las condiciones de trabajo del equipo de abrasión y sus componentes, principalmente la rueda vulcanizada, la boquilla, el tipo arena; que para este caso será el abrasivo de todos los ensayos y para todos los materiales de análisis, las dimensiones específicas del brazo y el porta probetas al igual que los contrapesos y las condiciones de velocidad del moto reductor; en cuanto al ensayo, especifica las variables a controlar, como lo son las revoluciones por minuto de la rueda, el tamaño de las probetas, el flujo y características del abrasivo; y como analizar la cantidad de masa que pierde el material al someterlo a este ensayo, todos estos parámetros se deben tener en consideración para la ejecución del ensayo.

De igual manera el laboratorio de molinos de la universidad Libre de Colombia cuenta con una cámara salina, equipo que es usado en la industria para el estudio de la corrosión sobre los metales, la corrosión es un fenómeno electro químico en el cual los metales tienden a volver a su estado natural, el hierro es uno de los elementos de la naturaleza más extraídos como materia prima, ya que con este elemento químico se puede obtener acero, posiblemente el metal más usado en el mundo, pero el hierro en su estado natural es explotado como una roca llamado óxido de hierro, en la industria desestabilizan el óxido de hierro para generar el metal de hierro que al mezclarlo con carbono se produce el acero, de esta manera es como el acero al ser un material desestabilizado químicamente, se empieza a

oxidar al exponerse al medio ambiente, aunque hay que dejar en claro que hay lugares en los que el medio ambiente es más agresivo que otros, es decir, tienden a ser más corrosivos que otros, como es el caso de los lugares costeros debido a la salinidad del mar, la humedad relativa del aire y la temperatura ambiente o los centros urbanos de gran congestión, por los altos índices de agentes contaminantes como los gases, que son producto de la quema de combustibles fósiles, debido a estas condiciones en la cual los metales se ven expuestos, es necesario el análisis de los diferentes metales cuando se ven expuestos a condiciones de alta corrosión, para lo cual, un equipo como la cámara salina permite analizar de manera acelerada cómo se comporta un metal a condiciones extremas de corrosión.

Este equipo permite realizar ensayo de corrosión de manera acelerada, controlando la temperatura, la presión y el tiempo de exposición de las probetas, que están expuesta durante el ensayo a una niebla con una alta concentración de salinidad, de esta manera se puede saber que tan resistente es un metal a un medio corrosivo; al igual que el equipo de desgaste abrasivo, la cámara salina mediante exposición a niebla salina, están parametrizados bajo una norma, que para este caso es la ASTM B117, norma en la cual dice las condiciones que debe cumplir la cámara salina para su correcto funcionamiento y control de las variables de presión, temperatura y concentración de la niebla durante el tiempo de exposición del ensayo, parámetros que se deben analizar y tener en cuenta.

Lastimosamente en la actualidad el equipo de desgaste abrasivo ni la cámara salina están parametrizados bajo las normas ASTM sobre las cuales deberían funcionar, por lo tanto, no se están realizando ensayos, ni estudios de materiales en estos equipos, lo que llega a limitar el campo de investigación de la Universidad Libre de Colombia; por esta razón el fundamento principal de este proyecto es la puesta a punto y funcionamiento de estos equipos para su posterío uso.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el estudio de los materiales, la caracterización de los mismos es una herramienta ampliamente usada desde hace años, con la cual se puede generar innovación en la implementación de los materiales en nuevos procesos productivos, logrando así por ejemplo reducción de costos en producción, aumento en la vida útil de algún componente mecánico etc.

Diferentes ensayos son utilizados para el análisis de materiales, siendo los de desgaste abrasivo y cámara salina unos de los más utilizados, debido a que se puede caracterizar el material o simular condiciones de fricción o desgaste y condiciones de atmosferas corrosivas.

El estudio del desgaste involucra prácticamente todos los elementos o piezas mecánicas que se encuentren en movimiento como lo son: anillos de pistones, rodamientos, embragues, engranes, frenos, levas entre otros. La corrosión está presente en piezas estructurales como puentes, grúas, vigas, recipientes para contener químicos, tanques, cascos de buques, entre otros. La pérdida de material debido a corrosión o desgaste, puede causar el debilitamiento en estructuras o componentes mecánicos generando accidentes, que se pudieron haber evitado con un estudio previo de los materiales seleccionados para dicha estructura o componente mecánico.

Para lograr una confiabilidad aceptable en la obtención y análisis de estos resultados, se hace necesario tener equipos que cumplan con los estándares establecidos en normas ASTM.

3.1 EQUIPO DE DESGASTE POR ABRASIÓN

El equipo de desgaste por abrasión del Universidad Libre de Colombia, ubicado en el laboratorio de molinos, no cuenta con las características dimensionales que se exponen en la norma ASTM G65, y que este equipo debe cumplir para la realización de ensayos de desgaste por abrasión, y así poder realizar los ensayos con una legitimidad ingenieril sobre los materiales de estudio y análisis.

Los problemas presentes en los componentes que no permiten el correcto funcionamiento del equipo de abrasión se han podido identificar:

- **Tolva:** Debe tener la capacidad de contener 19 litros o 5 galones de arena (el elemento abrasivo), y esta solo cuenta con la capacidad de almacenar 15 litros o 4 galones de arena, además la tolva se encuentra totalmente sellada, por lo cual no permite visualizar el nivel de arena que tiene la tolva, al momento de realizar un ensayo de abrasión, y así poder determinar si la cantidad de abrasivo que contiene la tolva, es suficiente para realizar el ensayo.

Se puede observar en la figura 1 la tolva original del equipo de abrasión, no solo no tiene la capacidad exigida por la norma ASTM G65 de 5 galones de abrasivo, sino que además es totalmente sellada, lo que no permite ver el nivel de arena contenida en la misma.

Figura 1 Tolva del equipo de abrasión para almacenar arena.



Fuente: Autores del proyecto

- **Brazo y Porta Probetas:** El brazo actual del equipo de desgaste de abrasión de la Universidad Libre de Colombia, no cuenta con las dimensiones de 508 mm de largo por 203mm de largo especificadas en la norma, de igual manera la porta probetas actual no permite que se pueda realizar el ensayo según lo especifica la práctica recomendada por la norma ASTM G-65.

El brazo original del equipo de abrasión, no cuenta con las dimensiones requeridas por la norma ASTM G65, y la porta probeta no tiene las dimensiones internas para las muestras de la norma, que son de 3 pulgadas de alto, 1 pulgada de ancho y 0,12-0,5 pulgadas de espesor, como se ve en las figuras 2 y 3

Figura 2 Brazo del equipo de abrasión fuera de la norma.



Fuente: Autores del proyecto

Figura 3 Porta probetas del equipo de abrasión fuera de servicio.



Fuente: Autores del proyecto

- **Boquilla:** Es uno de los principales factores a tener en cuenta, para garantizar el correcto desarrollo del ensayo de abrasión, debe cumplir principalmente el requisito de; generar un flujo constante y laminar como lo explica la norma ASTM G65. El flujo de arena debe estar siempre en contacto entre la probeta y la rueda vulcanizada mientras se realiza el ensayo. La actual boquilla del equipo, no genera un flujo laminar debido a que la sección transversal para la salida de área no es rectangular y no cuenta con las dimensiones que se especifican en la norma. La boquilla debe garantizar un flujo laminar constante durante el ensayo, y tiene dimensiones específicas de 12.7 mm de largo y 1.59 mm de alto, estas condiciones no las cumple la boquilla de la figura 4, por lo cual debe ser reemplazada.

Figura 4 Boquilla del equipo de abrasión fuera de norma.



Fuente: Autores del proyecto

- **Rueda Vulcanizada:** Es el otro componente de importancia en el equipo de desgaste por abrasión, para lo cual la rueda debe cumplir con los unos criterios específicos según la norma ASTM G65; en la cual dice que el caucho vulcanizado debe ser un NBR y que es curado para lograr una dureza de 60 Shore.
- **Habitáculo:** Este debe ser, cerrado y hermético, debido a que, en el desarrollo de un ensayo de desgaste por abrasión, se genera una gran cantidad polvo, que puede contaminar los componentes eléctrico y electrónicos, como el motor y el variador de velocidad, del equipo de desgaste por abrasión, además debe tener puertas igualmente herméticas, para evitar que las personas que realizan el ensayo, se vean afectadas por la presencia de polvo que se produce durante el desarrollo del mismo.

En la figura 5, se ve el habitáculo del equipo de abrasión, esta echo de láminas metálicas ajustadas por tonillos, esto no garantiza un sellado hermético, que proteja a los componentes eléctricos, por lo que serán reemplazadas por láminas de acrílico unidas por un sellante.

Figura 5 Vista del habitáculo del equipo de desgaste por abrasión.



Fuente: Autores del proyecto

Variador de Velocidad: Se desconoce la programación y los códigos de operación del equipo, en el cual se puedan identificar las frecuencias de corriente eléctrica con la que se alimenta el motor, no se puede modificar el tiempo en que el variador reduce la velocidad del motor a cero. En la figura 6 se puede ver el tablero digital y los botones de configuración del variador de velocidad, y en la figura 7 se aprecia la instalación y disposición del espacio recomendados por el fabricante del variador de velocidad.

Figura 6 Panel de control del variador de velocidad.



Fuente: Autores del proyecto

Figura 7 Vista general del variador de Velocidad.



Fuente: Autores del proyecto

3.2 CÁMARA SALINA

La cámara salina de la Universidad Libre de Colombia, ubicada en el laboratorio de molinos, presenta varios inconvenientes que no permiten su puesta a punto, como lo exige la norma ASTM B117, para que los ensayos de niebla salina para el análisis de los diferentes materiales expuesto a condiciones de corrosión, tengan valor ingenieril.

Los problemas presentes en los componentes que no permiten el correcto funcionamiento de la cámara salina que se han podido identificar:

- **Funcionamiento del Equipo:** Se desconoce el proceso de operación del equipo, con el cual se permita realizar el ensayo de cámara salina, los auxiliares de laboratorio desconocen la forma de operar el equipo, no cuentan con un manual de funcionamiento.
- **Compresor de aire:** No mantiene la presión dentro del rango de 10 a 25 psi durante el tiempo del ensayo de niebla salina, se debe tomar en cuenta que el compresor toma el aire del ambiente que lo rodea, lo filtra y lo comprime, pero en un ambiente altamente contaminado de material particulado como en el laboratorio de molinos, el filtro del compresor puede obstruirse con facilidad, lo que hace que el compresor presente fallas mecánicas y la cámara salina pierda presión durante un ensayo. El compresor es un componente anexo a la cámara salina, debido a que la cámara salina no cuenta con su propio suministro de aire a presión.

El compresor destinado para uso de la cámara salina, es un compresor de pistón, para generar 150 psi, un motor eléctrico de 1.6 hp y 33 galones de capacidad como se muestra en la figura 8.

Figura 8 Compresor de la cámara salina e identificación.



Fuente: Autores del proyecto

- **Empaquetadura:** Las líneas de flujo tanto de agua como de aire presenta en sus acoples y racores los empaque rotos, algunos carcomidos o altamente desgastados, lo que genera fugas y esto provoca perdida de presión y de caudal de aire comprimida. De igual manera la línea de solución salina, que lleva el líquido al atomizador se encuentra obstruida debido a suciedad que se ha acumulado por falta de mantenimiento y drenaje de las líneas.
- **Atomizador:** El atomizador, la línea de aire y la línea de agua de la cámara salina, se encuentran llenas de suciedad, lo que genera variaciones de caudal y de presión, que no se deben presentar en un adecuado ensayo de niebla salina.
- **Bomba Peristáltica:** La bomba peristáltica es la encargada de mantener la presión de la solución salina, en una constante dosificación en la cámara salina, la bomba peristáltica no se encuentra calibrada, por lo cual el flujo de solución salina no es constante, como se requiere en el desarrollo de un ensayo de niebla salina. La dosificación de solución salina, debe ser la adecuada para que en el atomizador al mezclarse con el aire, se pueda crear la neblina salina.

4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN

Con el ánimo de aprovechar los equipos que están disponibles en los diferentes laboratorios de la facultad de ingeniería para el programa de ingeniería mecánica de la Universidad Libre de Colombia sede bosque popular, y en vista que tanto la cámara salina y el equipo de desgaste por abrasión están diseñados y contruidos, pero no está en funcionamiento ni en su puesta a punto bajo las normas que reglamentan a estos quipos.

Se deben poner en funcionamiento estos equipos y elaborar una guía de mantenimiento preventivo y elaborar un modo de operación de cada ensayo, el cual se puede utilizar como práctica de laboratorio con el fin de aumentar el campo investigativo y dar una utilidad a estos equipos. Se darán los lineamientos básicos para cada ensayo, en función de las condiciones que debe tener cada equipo para su funcionamiento según la norma, para conocer detalles específicos sobre el procedimiento y condiciones especiales que requiera cada uno de estos ensayos, se debe remitir directamente a la norma ASTM específica.

En gran medida conocer las propiedades y características de los distintos materiales al someterlos a ensayos de corrosión y abrasión permite que se puedan implementar en distintos sectores de la industria, ya que se puede aumentar la vida útil de una estructura o elemento mecánico. Estos ensayos tienen como ventaja que en el caso de la cámara salina, aceleran el proceso de desgaste, dando así una proyección de pérdida de masa, en el equipo de desgaste abrasivo se estudia cómo se comporta un material a condiciones de alta fricción y abrasión del material al afrontar condiciones adversas. Realizar estos ensayos significó que, en los últimos años en los países industrializados, el estudio de perdida de material por abrasión y corrosión, ha generado un ahorro considerable en el Producto Interno Bruto (PIB), este ahorro esta entre 7% y 8%, analizando los resultados obtenidos

La planeación de un mantenimiento preventivo aumenta la confiabilidad de los equipos, reduce tiempos muertos y costos en reparaciones. Con la puesta a punto de la cámara salina para los ensayos de niebla salina según la norma ASTM B117; y del equipo de desgaste por abrasión según la norma ASTM G-65, la Universidad Libre de Colombia podrá ampliar sus líneas de investigación, en el análisis de materiales que están sometidos a condiciones adversas como la corrosión y la abrasión, un ejemplo de estos casos son todas las máquinas y elementos que se ubican en lugares marinos o costeros y de fricción como la maquinaria de la industria cementera, solo por nombrar algunas.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Puesta a punto de la cámara salina y equipo de desgaste por abrasión, según normas ASTM B117 y ASTM G-65 respectivamente, de la Universidad Libre de Colombia sede bosque popular.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mejorar el funcionamiento del equipo de desgaste abrasivo de la Universidad Libre según norma ASTM G-65.
- Validar mediante pruebas el equipo de desgaste abrasivo, donde se evalué el ensayo.
- Elaborar un manual de funcionamiento y de mantenimiento preventivo de los componentes críticos del equipo de desgaste por abrasión de la Universidad Libre.
- Mejorar el funcionamiento de la cámara salina para el estudio de la corrosión según norma ASTM B117 o su equivalente NTC 1156.
- Validar mediante pruebas la cámara salina para el estudio de la corrosión, donde se evalué el ensayo.
- Elaborar un manual de funcionamiento y de mantenimiento preventivo de los componentes críticos de la cámara salina de la Universidad Libre.

6. ESTADO DEL ARTE

El estudio de la corrosión y desgaste en materiales comenzó con pequeños aportes de experimentos realizados, pues los recursos de investigación eran muy limitados. Uno de los primeros aportes fue dado por el químico y farmacéuta francés **Louis Jacques Thénard** quien nace el 4 de mayo de 1777 en la población de La Louptière-Thénard y muere 21 de junio de 1857 en la ciudad de París, gracias a sus estudios en el año de 1819 plantea que la corrosión se genera debido a un fenómeno electroquímico, dando así el primer indicio del proceso de corrosión. Años después **Harry Brearley**, quien nació en Sheffield, Inglaterra en el año de 1871, su familia era reconocida en la época por dedicarse a la siderurgia, razón por la cual tiempo después se convirtió en un experto en el estudio del acero y de los fenómenos de corrosión y abrasión que en estos se presentaban. Hacia el año de 1908, gracias a la experiencia obtenida en la solución de problemas en metalurgia fundó, *Brown Firth Laboratories*, con el fin de aumentar el campo de investigación en materiales.

Sus principales hallazgos comenzaron a partir del año de 1912, un productor de armas lo buscó para solucionar los problemas en los rifles que fabricaba, erosión al interior del cañón, esto a causa del calor y los gases. Como primera medida busco un acero que le diera mejor resistencia a la abrasión más no a la corrosión. Luego teniendo en cuenta que el cromo tenía mayor punto de fusión al de los aceros que encontraba en la época, decidió tenerlo en cuenta.

Harry Brearley¹, fabricó un acero el cual estaba aleado con cromo entre 6% y 15%. Con lo cual se obtuvo la primera colada de acero inoxidable de tipo martensítico y una adición exclusiva de cromo (0.24% Carbono – 12,8% Cromo), a partir de este material continuó su investigación, y descubrió que tenía más resistencia contra ataques químicos y ácidos (vinagre y limón). Logrando así obtener un material que, gracias a sus propiedades de resistencia a la corrosión, podía prolongar la vida útil e integridad del acero.

Actualmente se realizan análisis de resistencia de corrosión a los materiales con varios ensayos, siendo el de cámara salina uno de los más utilizados, los ensayos en cámara salina se utilizan para analizar el comportamiento de recubrimientos los cuales tienen la función de mantener la integridad del metal base ante unas condiciones específicas de trabajo. El estudio de la corrosión se utiliza en la actualidad en distintos materiales, utilizados en industrias como la naval,

¹ http://www.bssa.org.uk/about_stainless_steel.php?id=31

estructuras metálicas, recipientes a presión, industria automotriz, industria militar solo por nombrar algunas.

A nivel nacional distintas universidades han realizado estudios donde se analiza el fenómeno de la corrosión, en distintos materiales y para aplicaciones diferentes Universidad Tecnológica de Pereira, Universidad Industrial de Santander, Universidad Nacional de Colombia, entre las más relevantes, pero cabe resaltar que este procedimiento requiere la utilización de equipos que estén de acuerdo a las prácticas recomendadas que establece la norma técnica específica.²

En cuanto al estudio de la abrasión, cuando se presenta el contacto entre dos cuerpos sólidos, se presenta una fuerza de acción y reacción entre ellos, las cuales pueden terminar en pérdida de material para los cuerpos que estén en contacto. Este principio no es nuevo, pues desde el establecimiento de los primeros grupos de humanos se hizo necesario utilizar el principio de fricción para utilizarlo en la fabricación de elementos de caza y utilizado en las primeras herramientas piedras talladas, cobre y acero posteriormente.

El análisis y estudio de la fricción sobre elementos es más reciente que sus aplicaciones. Pues es solo hasta el siglo XVII en la primera ley de Newton donde se nombran por primera vez la fricción cinética y dinámica.

En los primeros estudios sobre la fricción resalta la figura de **Guillaume Amontons**, quien para el año de 1699 publicó varias investigaciones sobre fricción. **Charles-Augustin de Coulomb** en el año de 1785 hizo estudios sobre la fricción el cual le mereció un premio de la Academia. Entre los postulados que compartían estos investigadores estaba que la fricción se debía a la obstrucción de protuberancias mecánicas o irregularidad en la superficie de los materiales de contacto, a partir de esto se pudo concluir que la fuerza de fricción que soporta un cuerpo es proporcional a la carga aplicada e independiente del área de contacto entre las superficies. Entre los estudios también se tuvo en cuenta la que denominaron fuerza por adhesión que estaba entre las superficies de contacto. Como resultado de la fricción le denominaron hipótesis de adherencia, en la cual la fricción es proporcional al área de contacto, lo que es contrario a la evidencia experimental realizada hasta el momento.

Durante el periodo comprendido entre los siglos XIX y XX, la teoría de aspereza fue la más aceptada. Hacia el año de 1920 aproximadamente se revive el interés

² MARULANDA, José L; ZAPATA MENESES, Alberto y ESTRADA, Carlos E. Construcción de una máquina para ensayo en desgaste abrasivo según norma técnica Astm g-65. En: Scientia et Technica. No. 41 Mayo de 2009. Universidad Tecnológica de Pereira.

por el estudio de la hipótesis de adherencia esto gracias a los estudios realizados por **Godfrey Harold Hardy** en el año de 1919 y posteriormente **Prandtl-Tomlinson** en 1929³.

Luego de recolectar las investigaciones realizadas anteriormente y con nuevos estudios, un grupo de científicos logró establecer un panorama claro sobre el estudio de la fricción, **Holm** en el año de 1938 quien estudio las propiedades del contacto eléctrico que se presenta en materiales; en el año de 1940 la teoría de **Ernst y Merchant**, en la cual se habla del proceso de corte en metales; y en el año de 1942 las investigaciones que realizaron **Bowden y Tabor** sobre el comportamiento interatómico que había entre las superficies, se complementaron entre sí para dejar claras las diferencias que habían entre la hipótesis de adherencia y aspereza. En donde se dejó claro que había una diferencia significativa entre el área aparente y el área total de contacto y que solo el área real de contacto entre las superficies, determinaba la verdadera magnitud de la fuerza de fricción que se estaba produciendo. Debido a que si se toma el área real se podría demostrar que esta será proporcional a la carga e independiente del área aparente que se tenga, gracias a esto la hipótesis de adherencia que se había planteado podría explicar los resultados experimentales que se habían obtenido, debido a que la fuerza de fricción es independiente del área de la superficie aparente.

Debido a estas investigaciones el estudio del fenómeno de fricción y de la manera en que se producen las fuerzas de fricción, han aumentado en los últimos años. Al recopilar información referente al desgaste se puede encontrar en una forma muy resumida, aunque el estudio para entender todo el proceso debió ser analizado y estudiado por muchos años, pero lo que se ha avanzado en los últimos años ha sido muy significativo. El gran desarrollo se dio a partir del año de 1940, donde nuevos instrumentos de medición facilitaron la identificación de las variables involucradas en el proceso.

³ KUMAR, M; GUPTA, R.C. Abrasive wear characteristics of carbon and low alloy steels for better performance of farms implements. En: J. Mater. Sci. Technol. Noviembre, 1995 vol. 11. p. 91 – 96.

7. MARCO CONCEPTUAL

Ánodo: Electrodo con polaridad positiva

Abrasivo: Material o sustancia que sirve para desgastar o pulir por fricción una superficie al entrar en contacto con otra.

Arena: Son partículas rocosas disgregadas. Arena se denomina al material al compuesto de partículas en los cuales tiene tamaño de grano variado entre 0,063 y 2 milímetros (mm).

Atomizador: Es un elemento que se utiliza con el fin de producir una fina pulverización de un líquido, al realizar la mezcla de líquido y aire a presión.

Criticidad: En mantenimiento, permite establecer una jerarquización donde se evalúan la frecuencia de fallas y la severidad que estas puedan tener en un sistema.

Cámara Salina: Equipo por el cual se puede acelerar el proceso de corrosión de material mediante la exposición de muestras a niebla salina.

Cátodo: Electrodo con polaridad negativa.

Compresor: Máquina por medio de la cual se puede aumentar la presión y desplazar fluidos denominados compresibles, tales como gases y vapores.

Corrosión: Es la destrucción continua y acelerada de los metales por la tendencia que tienen regresar a su estado original, óxidos.

Desgaste: Pérdida de masa de la superficie de un material sólido por la interacción mecánica con otro cuerpo en contacto.

Electrolito: Es una disolución que conduce electricidad, por ejemplo, sal disuelta en agua.

Falla: Se define como la causa o evento que impide el desarrollo de una función específica del equipo. Estas se pueden presentar de manera parcial o cuando simplemente deja de cumplir su función de manera súbita.

Fricción⁴: Hace referencia a la fuerza fricción o rozamiento, entre dos superficies que se encuentran en contacto, la que se opone al movimiento entre ambas superficies se denomina como fuerza de fricción dinámica o la fuerza que genera resistencia al inicio del movimiento se denomina fuerza de fricción estática.

Lista de Chequeo: Formato por el cual se realiza un seguimiento de actividades de mantenimiento en determinado equipo o componente.

Mantenimiento Preventivo: Conjunto de actividades que se realizan para reducir la probabilidad de fallo en un elemento o sistema. Se trabaja antes de llegar a la falla de algún componente.

Niebla salina: Mezcla de agua destilada con *NaCl*, cuya concentración es 95 % de agua destilada por 5% de *NaCl*. Según norma ASTM B 117.

Oxido: Es un producto visible del proceso de corrosión. Este es solo en las aleaciones ferrosas.

Oxidación: Es la pérdida de electrones en una reacción electroquímica.

Tribología: Ciencia que se encarga de estudiar la fricción, desgaste y lubricación que se produce al haber contacto entre dos superficies.

Velocidad de Corrosión: Cantidad de material o aleación pedida por unidad de tiempo.

Vulcanización⁵: Proceso en el cual se calienta el caucho crudo en presencia de azufre, con el fin de aumentar su dureza y resistencia.

⁴ RAMÍREZ MONTENEGRO, Luis F. Aleaciones especiales aplicables a las condiciones ambientales en la zona del puerto de Guayaquil. Tesis de grado Ingeniero Mecánico. Guayaquil, Ecuador. Escuela superior politécnica del litoral. 2009. 97 p.

⁵ CONSORCIO NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL CAUCHO. Observatorio Industrial del Sector Químico. II.4 Sector del Caucho Manufacturas del Caucho y Látex.

8. MARCO TEÓRICO

8.1 CORROSIÓN

La corrosión se define como la destrucción continua y acelerada de los metales pues las aleaciones metálicas ferrosas tienden a buscar su forma más estable o de menor energía interna. Cuando la corrosión es generada debido a una reacción electroquímica (oxidación) en la cual se ven involucradas las propiedades específicas de cada metal, la temperatura y salinidad del ambiente al que están sometidos, conllevando a que este material se vea afectado en cuanto a sus propiedades físicas y químicas.

Se puede encontrar que otros materiales no ferrosos, pueden ser víctimas de la corrosión por medio de otros mecanismos, una reacción química (oxido reducción) en la cual se ven involucradas de igual manera el ambiente de interacción, la humedad y la pieza expuesta.

Los metales se encuentran en la tierra en forma de óxido al ser extraídos, razón por la cual el metal siempre busca la manera de regresar a su estado original, oxido. La diferencia de los materiales radica en que se corroen a velocidades distintas, debido a sus componentes y propiedades.

La corrosión es un fenómeno muy amplio que afecta a muchos materiales, entre los que encontramos metales, cerámicos, polímeros etc., y se presentan en todos los ambientes, ya sean medio acuosos, en contacto con la atmosfera, ambientes salinos, en contacto con ácidos, a alta temperatura etc. En la corrosión se hace necesario aplicar conocimientos de física y química para conocer y entender el fenómeno.

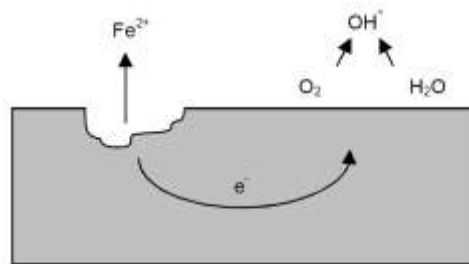
8.1 .1 Principio Básico De La Corrosión⁶. La corrosión se debe a un flujo eléctrico de manera masiva generado por las diferencias electroquímicas de los elementos implicados en la corrosión, para que se presente corrosión se necesita siempre que haya un ánodo encargado de la oxidación, un cátodo encargado de la reducción, un camino metálico y un electrolito. La corriente de electrones se presenta al existir una diferencia de potencial entre un material y otro. El material que posee un potencial más positivo se comportará como un cátodo y es el que producirá la reducción el que tenga un potencial de reducción negativo será el ánodo el cual se oxidará.

[1] ZELINKA L, Samuel; RAMMER R Douglas. Review of Test Methods Used to Determine the Corrosion Rate of Metals in Contact With Treated Wood. USDA. 2005. Reporte Técnico General. 23 p.

El electrolito no se limita solo a líquidos, pues también puede ser un elemento sólido. La transmisión de las cargas eléctricas se realiza por medio de los electrones que van del ánodo al cátodo, el cual es por medio del metal y de movimiento de iones por medio del electrolito. El proceso de pila galvánica consiste en que la especie que se oxida ósea el ánodo cede sus electrones y la especie que se está reduciendo o sea el cátodo recibe los electrones. Al formarse la pila galvánica, se produce que el cátodo se polariza de manera negativa y el ánodo de polariza de manera positiva.

La forma gráfica de representar el proceso de la oxidación del hierro se muestra en la figura 9. El principal factor que permite que los materiales sean propensos a la corrosión es debido a su inestabilidad que está presente en la mayoría de los metales⁷.

Figura 9 Esquema de oxidación



Fuente: Internet https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/01/Fe_corrosion.PNG/1024px-Fe_corrosion.PNG

La característica fundamental que tiene la corrosión electroquímica, es que solo se presenta cuando hay un electrolito de por medio, lo que causa que se generen y diferenciar regiones anódica y catódica. Los enlaces metálicos tienden a convertirse a enlaces iónicos, el material en algún momento podría llegar a transferir y recibir electrones cosa que los puede llegar a favorecer, lo cual crearía zonas anódicas y catódicas en su estructura. El proceso de corrosión en los metales es muy relativo al igual que la velocidad con que se produce la pérdida de material, un factor es el ambiente en el cual se encuentre expuesto, entre más tiempo sea la exposición a este ambiente nocivo para el material, producirá que se

⁷ RAMÍREZ MONTENEGRO, Luis F. Aleaciones especiales aplicables a las condiciones ambientales en la zona del puerto de Guayaquil. Tesis de grado Ingeniero Mecánico. Guayaquil, Ecuador. Escuela superior politécnica del litoral. 2009. 97 p.

deposite sobre la superficie del material una capa, la cual va a hacer que el material se convierta proclive a generar corrosión y se vea afectada su integridad.

Un claro ejemplo que todos pueden entender sobre el proceso de corrosión electroquímica, es el que se produce cuando luego de mucho tiempo se extrae de la tierra algún metal o componente que se encontraba enterrado bajo la tierra. El proceso de corrosión que se da en el material dependerá de varios factores, el porcentaje de humedad que contenga el suelo, la composición química, pH que tiene el suelo, profundidad a la que este enterrado, tiempo que lleva enterrado, etc. El índice de resistividad eléctrica que tenga el suelo, es generalmente el principal indicador para conocer qué tan agresivo es el proceso de corrosión en un suelo determinado. Una de las principales acciones que se toman para lograr mitigar los efectos de la corrosión en los materiales y así protegerlos es por medio de aplicar recubrimientos de distintos tipos, ya sean termo aspersion, pinturas, recubrimientos epóxicos entre otros⁸.

8.1.2 Tipos de corrosión. La clasificación que se tiene, es en función de la forma en que el material es afectado y las condiciones específicas de cada una la cual facilitan que se presente la corrosión, algunos de los principales tipos de corrosión conocidos son:

- **Corrosión Galvánica:** Al tener contacto de dos materiales, los cuales poseen un potencial eléctrico diferente lo que permite la formación de un metal como ánodo y otro como cátodo, cuando hay mayor diferencia de potencial el material más activo será el ánodo.
- **Corrosión Intergranular:** Se presenta cuando se precipiten carburos al borde de grano en el material, lo cual hace proclive que se pierda resistencia e inicie la desintegración del material.
- **Corrosión por Picadura:** En la superficie del material se producen pequeños agujeros por el cual se permite que este en contacto entre el ambiente corrosivo y el metal base.
- **Corrosión por Esfuerzo:** Son las que se presentan cuando luego de un proceso de manufactura de deformación en frío, se puede presentar tensiones internas que permiten la formación de corrosión en el metal base.

⁸ SALVADOR QUIÑONES, Marcelo F. Estudio de la influencia de un recubrimiento epoxico poliamida en la velocidad de corrosión de tubería de transporte de crudo grado API 5L X70. Tesis de Master en transporte de petróleo y sus derivados. Quito, Ecuador. Escuela Politécnica Nacional. 2012. 83 p.

- **Corrosión por Grietas:** Es una corrosión localizada que se produce al tener la formación de microambientes que, al estancarse sobre la superficie, tienden a inducir la formación de grietas, que se pueden formar en arandelas, juntas, cabezas de tornillos, pernos.

8.2 ENSAYOS DE CORROSIÓN

Analizar el fenómeno de la corrosión implica tener en cuenta múltiples variables, en función del objetivo que se tenga planeado en el desarrollo al realizar el ensayo. Se deben tener en cuenta variables como el tipo de corrosión, el ambiente de trabajo, el material a analizar, el tipo de industria o condiciones de trabajo que tendrá el material. La cámara salina simula ambientes corrosivos, en donde se acelera y simula condiciones adversas de ambiente de trabajo para el material a estudiar.

Los ensayos se pueden realizar de manera natural o de laboratorio. Los ensayos naturales, son los que la muestra a analizar está expuesta directamente a las condiciones de ataque del ambiente, por otro lado, los de laboratorio son ensayos que se realizan bajo condiciones definidas y controladas. La principal diferencia entre estos ensayos, es que los ensayos de laboratorio se utilizan muestras o probetas pequeñas del material que se quiere analizar, se conoce su composición y las condiciones de exposición controladas.

Los resultados obtenidos en los ensayos naturales, son a largo plazo, no se tiene un tiempo establecido en que se evidencien los resultados. Las condiciones del ataque en condiciones naturales son muy variables y no controladas. Por la premura del tiempo no es posible el uso de estos ensayos, ya que pueden llegar a evidenciar resultados en periodos de 2 y hasta 3 veces el tiempo, que tarda el ensayo en un laboratorio con condiciones controladas.

8.2.1 Ensayo en Condiciones naturales⁹. Por medio de ellos, se permite un estudio de manera más exacta de un material, para un lugar de trabajo específico. Estos ensayos son la base de todos los ensayos de corrosión, y de este se derivan todos los estudios actuales. Requieren un largo periodo de tiempo para evidenciar resultados.

- **Ensayos de exposición directa a la atmosfera.** Se deben tener en cuenta las variables que intervienen en el proceso de exposición directa al ambiente, las cuales son: temperatura del aire, irradiación solar, humedad, viento, lluvias, polvo, etc. Para este ensayo se debe elegir un lugar en el

⁹ <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11596/Capitulo2.pdf>

cual, el material a analizar tenga las mismas condiciones o muy similares de exposición, se deben tener aisladas en la manera de lo posible de gases residuales o humo.

De igual manera se debe tener en consideración la forma en que se van a ubicar las probetas, preferiblemente dejarlas colgando libremente, para asegurar que la mayor cantidad de área de la probeta este en contacto con el ambiente. Y llevar un registro de las condiciones básicas de exposición, como temperatura, humedad, viento, lluvias, etc. Con el fin de analizar los resultados.

- **Ensayos de Inmersión en agua o en el mar.** Bajo estas condiciones se debe prever de manera especial cual será la disposición al ubicar las probetas, debido a que se debe tener en consideración que el caudal del agua, y que actúa de manera directa sobre la probeta podría arrastrarla y perderla. En la exposición en agua de mar se debe tener en cuenta que los cambios en la marea pueden producir que por periodos intermitentes, la probeta puede estar o no sumergida en el agua del mar, variable que se debe tener en cuenta, al momento de analizar los resultados.
- **Ensayo bajo tierra.** Este ensayo solo permite emitir un juicio verídico de la corrosión de un material cuando se tienen en cuenta algunas condiciones, se deben enterrar bajo las mismas circunstancias prácticas, esto quiere decir, que se tenga establecido las características del material enterrado y del medio agresivo a las condiciones de servicio.

Para tener una mayor certeza en los resultados que se obtengan, se hace necesario que se realicen ensayos a tubos o cables cuya longitud sea mayor a 1 m de longitud. Cuando se realiza el ensayo de un objeto hueco, estos huecos deben taponarse en ambos extremos.

Para validar los resultados obtenidos, se debe contar un gran número de probetas, las cuales se van enterrando en el transcurso de tiempo y como mínimo, dos cada vez hasta completar una muestra significativa. Depende el material y el objetivo.

8.2.2 Ensayos de Laboratorio. Uno de los principales objetivos que tienen los ensayos de laboratorio, es llegar a limitar o reducir al máximo posible la acción atmosférica sobre las probetas. Hay que tener en cuenta que en un laboratorio no se pueden llegar a evaluar todas las variables, ya que se haría necesario tener un número elevado de ensayos.

Algunos de los ensayos más conocidos y en los cuales se ven involucradas distintas variables en cada uno, son las siguientes:

- **Ensayo de Inmersión Alterna:** Por medio de este ensayo se pretende simular el contacto directo de un material con la lluvia, los efectos de humedecimiento y secados a los que están sometidos algunos materiales. En el laboratorio en ensayo de inmersión alterna, las probetas se sumergen durante un tiempo establecido, ya sea en agua o en una solución acuosa para luego proceder a su extracción lenta para ser secada en el aire. Se pueden utilizar distintos medios para la inmersión, agua del grifo, agua destilada, o una solución de 3% al 4% de cloruro de sodio (NaCl).
- **Ensayos de Inmersión Continua:** La inmersión continua también es utilizada para poder caracterizar un material y determinar cuál será su comportamiento al estar sometida al contacto directo con alguna sustancia específica. Las sustancias más agresivas son contenidas en recipientes de vidrio y las probetas se mantienen suspendidas al interior del recipiente de vidrio. Las probetas pueden ser suspendidas por medio de una horquilla o soporte que permita que la probeta este con la mayor área de su superficie en contacto directo con la solución, las probetas que están totalmente sumergidas deben tener el nivel de la solución como mínimo a 3 cm, por encima del borde superior de la probeta. El tiempo de exposición y las demás condiciones son definidos en función de lo que se requiere analizar y las características que tenga el material.
- **Ensayo de niebla salina.** Consiste en mantener en exposición continua de niebla salina a las probetas en el interior de la cámara, con condiciones de presión y temperatura controlados, por un tiempo definido.
- **Métodos Electroquímicos**¹⁰. Este método tiene gran impacto en los procesos de corrosión. Es utilizado con frecuencia porque tiene una ventaja, ya que permite obtener resultados en corto tiempo, se puede

¹⁰ <http://www.arqcon.com.ar/pprof/ppcorrosion.htm>

simular, explicar y justificar de manera clara el proceso de corrosión.

8.3 Cámara Salina.

Este es un equipo de laboratorio en la que se pueden hacer ensayos para acelerar el proceso de corrosión, se mantiene expuesto el material a analizar a una constante niebla salina *NaCl* que es corrosiva, se pueden modificar las variables que intervienen en el ensayo. El ensayo en cámara salina ha sido uno de los más aceptados en el análisis de corrosión en distintos materiales, ya que por medio de esta no solo permite analizar el comportamiento de recubrimientos para proteger el material base, sino que de igual manera se puede establecer el comportamiento del material al ser expuesto directamente a la niebla salina las que se asemejan a las condiciones ambientales a nivel del mar, que es considerada como una de las más agresivas a los materiales.

La norma técnica que hace referencia al ensayo de cámara de niebla salina es ASTM B117, esta establece las condiciones mínimas para realizar el ensayo, temperatura, presión, mezcla de *NaCl*, rangos de las variables involucradas, entre otras.

La cámara salina debe contar con un tanque para la solución que se prepara y como una extensión de la cámara salina, debe contar con un suministro de aire a presión de manera constante y así se produzca la atomización de la solución salina. Debe tener una resistencia que mantenga la temperatura a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante el tiempo de exposición, este depende de cada material que se desea analizar y de la caracterización que se requiera¹¹. En la figura 10, se muestra la cámara salina de la Universidad Libre, que está ubicada en el laboratorio de molinos, la que debe ser puesta a punto según la norma técnica referenciada.

¹¹ ASTM B117. Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.

Figura 10 Cámara salina para el estudio de la corrosión de la Universidad Libre.



Fuente: Autores del Proyecto.

8.3.1 Análisis de los resultados en pruebas de corrosión. Hay distintas maneras en que se pueden evidenciar los efectos de la corrosión en los materiales, es suficiente con observar variaciones en la superficie del material o inspeccionar de manera más profunda con análisis por medio de microscopio.

- Inspección Visual
 - Microscopio convencional
 - Microscopio electrónico
 - Variaciones de Peso
 - Disminución de espesor
-
- **Velocidad De Corrosión.** Es la relación que existen entre la pérdida de material con respecto al tiempo de exposición a un ambiente corrosivo. La velocidad de eliminación de material como consecuencia de la acción química, constituye un importante parámetro de la corrosión. Se puede expresar como la Velocidad de Penetración de la Corrosión.¹².

¹² ACERO LIZCANO, Lucia María; CASTRILLÓN RODRÍGUEZ, Gina X. Determinación de la velocidad de corrosión de un acero AISI 1020 en presencia de mezcla ácida salmuera /H₂S/ CO₂ en un sistema a escala piloto, usando técnicas electroquímicas. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander. 2004. 105p

Ecuación 1 Velocidad de penetración de la corrosión

$$mpy = \frac{3,45 \times 10^6 (P_o - P_f)}{D * A * T}$$

Fuente: ACERO LIZCANO, Lucía María; CASTRILLÓN RODRÍGUEZ, Gina X. Determinación de la velocidad de corrosión de un acero AISI 1020 en presencia de mezcla ácida salmuera /H₂S/ CO₂ en un sistema a escala piloto, usando técnicas electroquímicas. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander. 2004. 105p

P_o: Peso inicial. (g)

P_f: Peso final. (g)

D: densidad del material analizado. (g/cm³)

A: Área expuesta. (cm²)

T: Tiempo de exposición (horas)

8.4 TRIBOLOGÍA

La tribología es la ciencia encargada del estudio de la lubricación, fricción y desgaste ya sea de partes móviles o estacionarias en distintas aplicaciones industriales. Tanto la lubricación como la fricción y el desgaste están fuertemente ligados a la duración de la vida de los componentes mecánicos rodamientos, anillos de pistones, camisas de pistones, embragues, frenos, engranes, piñones, levas, ejes son solo algunos, en máquinas se puede aumentar la confiabilidad de motores de cuatro tiempos y Diesel, transformadores, turbinas, compresores procesos como rolado, laminado, trefilado, forja, procesos de corte ya sea por medio de herramientas o fluidos y componentes estructurales como vigas, puentes, grúas, rieles de ferrocarril, tanques de almacenamiento entre otros. La selección de materiales necesita un estudio detallado cuando tendrán superficies en contacto entre componentes, se deben tener en cuenta varios parámetros como lo son la adecuada selección de un lubricante, conocer el ambiente de trabajo y las condiciones en las que va a operar¹³.

Es la ciencia que se encarga del estudio de los sistemas en movimiento que se encuentren en contacto mutuo y en interacción. Analiza los problemas de rozamiento, lubricación y desgaste que anteriormente venían siendo estudiados de manera independiente. Involucra estudio en aspectos de Química, Física, Metalúrgica, entre otros, por lo cual abarca en gran medida todas las ramas de la

¹³ BAYER G. Raymond. Mechanical Wear Fundamentals Testings. 2 ed. New York: Marcel Dekker Inc. 2004. 396 p. ISBN 0-8247-4620-1

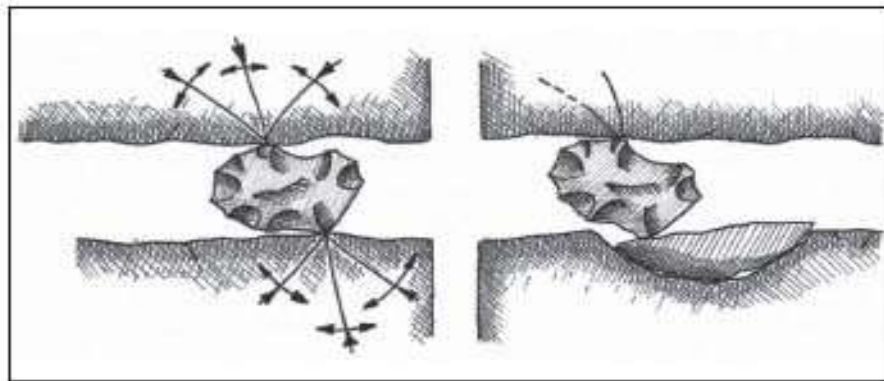
ingeniería, donde el principal objetivo que se tiene es la de mejorar las condiciones de trabajo de distintos componentes, por medio de la reducción del desgaste y fricción, viéndose reflejado así en un incremento en la vida útil y reduciendo costos de mantenimiento.

Las principales consecuencias que se generan a partir de no tener un control sobre la fricción y desgaste, es el aumento en el consumo de energía incrementando los costos de producción y operación, y desencadenando fallas mecánicas en distintos componentes.

El reconocimiento que se le ha dado a la tribología en los últimos años ha sido el gran potencial que tienen en función de economizar los recursos financieros que eran destinados a mantenimientos correctivos a causa de daño en componentes sometidos a desgaste y fricción.

8.4.1 Desgaste abrasivo. Este se define como la pérdida de masa luego de la interacción por contacto entre partículas o discontinuidades en una superficie y se desplazan siempre estando en contacto. Una de las principales características que se presenta entre el desgaste abrasivo y el desgaste por deslizamiento, es el grado de desgaste o severidad que se presenta luego de haberse presentado contacto entre las superficies. El desgaste abrasivo es más severo y agresivo que el desgaste por deslizamiento. Las partículas que se muestran en la figura 11, las que se encuentran entre las superficies de contacto, son las encargadas de generar mayor abrasión y desgaste entre las superficies.

Figura 11 Desgaste abrasivo con material partículas entre las superficies de contacto.



Fuente: Internet <http://revistas.concytec.gob.pe/img/revistas/iigeo/v15n30/a08fig06.jpg>

La tasa de desgaste en los materiales depende principalmente de la carga que tengan entre las superficies y del tamaño del material particulado, por medio de este análisis se puede caracterizar el comportamiento del material ante condiciones adversas de trabajo, predecir la vida útil y poder programar los tiempos para realizar mantenimientos preventivos, que son más económicos, beneficiosos para la operación y disponibilidad del equipo.

8.4.2 Medición de desgaste. Al realizar una búsqueda simple se pueden encontrar diversidad de técnicas y normas que dicen de los tipos de desgaste que se puede presentar en los materiales, en las cuales hablan de una amplitud y variedad en las técnicas para realizar las mediciones de manera cualitativa y cuantitativa

Dependiendo el tipo de desgaste que se pueda presentar serán distintos los daños y consecuencias que se presenten en las piezas que se encuentren en contacto. En el caso que haya material perdido durante el proceso de desgaste, se puede determinar por medio de la medición de la cantidad de material que fue removido o por medio del método donde se evalúa la pérdida de peso en el material que se está evaluando, este método también es utilizado en las pruebas donde se evalúa la acción de la corrosión en un material.

- **Pérdida de masa.** La medición de pérdida de masa debido al desgaste es el método más sencillo y utilizado para describir de manera cuantitativa. Esta aplicación se realiza en el desgaste abrasivo para materiales sólidos. La pérdida de masa por desgaste se puede determinar al calcular cual fue la variación la cantidad de masa perdida al terminar el ensayo. Razón por la cual se hace necesario que la muestra que se desea ser analizada se le mida su masa antes y después de ser sometida al desgaste abrasivo.

Se debe tener en cuenta que el material abrasivo con el que se realizó la prueba, puede llegar a aportar masa a la muestra cuando esta sea pesada, razón por la cual al terminar el ensayo se hace necesario limpiarla completamente y retirar cualquier clase de exceso de material¹⁴.

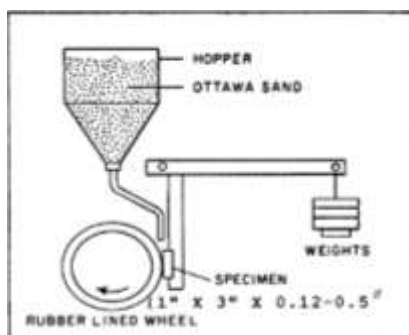
La norma que se encarga de guiar la práctica recomendada para el ensayo de desgaste por abrasión es la ASTM G65, la que es la referente para la realización

¹⁴ LOBO PICON, Jorge A; NAVAS MANTILLA, Heidy R; APARICIO CASTILLO, Andrés. Diseño detallado de una cámara salina para la valoración de componentes aeronáuticos. Proyecto de grado para Ingeniería Aeronáutica. Bogotá, Colombia. Universidad San Buenaventura. 2006. 420p.

de este proyecto. En la figura 12, se muestra la disposición que debe tener el equipo según la norma técnica ASTM G65, en donde una probeta es presionada contra una rueda de caucho vulcanizada que comienza a girar a unas RPM determinadas según la norma, esto en función de la dureza del material que se va a evaluar, por la boquilla superior se deja caer un flujo constante de arena que tiene un flujo entre 300 y 400 gramos por minuto, que será el agente externo que generará la abrasión entre la rueda y la probeta¹⁵.

La norma es muy específica en que el factor principal del ensayo es el recorrido lineal que haga la rueda sobre el material, en la tabla 1, se muestran los parámetros que se especifican en la norma para la realización del ensayo. Por medio de esta prueba se puede realizar la selección de materiales que tengan condiciones de trabajo abrasivos.

Figura 12 Esquema del ensayo de abrasión según ASTM G65.



Fuente: ASTM G65 - 04(2010). Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus

Tabla 1 Parámetros para el ensayo de desgaste por abrasión, según norma ASTM G65.

Specified Procedure	Force Against Specimen, ^B N (lb)	Wheel Revolutions	Lineal Abrasion ^A	
			m	(ft)
A	130 (30)	6000	4309	(14 138)
B	130 (30)	2000	1436	(4 711)
C	130 (30)	100	71.8	(236)
D	45 (10.1)	6000	4309	(14 138)
E	130 (30)	1000	718	(2 360)

^A See 8.4.

N = Newton (SI metric term for force)

1 lbf = 4.44822 N

1 Kgf = 9.806650 N

^B Force tolerance is $\pm 3\%$.

Fuente: ASTM G65 - 04(2010). Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus

¹⁵ ASTM G65 – 04 (2010). Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus

8.4.3 Principales parámetros en las pruebas de desgaste. Los estudios en el campo del desgaste han generado tres parámetros básicos, entre los cuales se pueden diferenciar los estructurales, de interacción y operacionales.

Estructurales: es la configuración básica de un sistema y que se compone de cuatro elementos, dos elementos en contacto, un elemento interfacial y medio ambiente. Se pueden clasificar en dos grupos, en el primero se pueden establecer las propiedades de los elementos que se encuentran en contacto tales como:

- Parámetros Mecánicos: Dureza, módulo de elasticidad, etc.
- Parámetros Físicos: Conductividad térmica.
- Parámetros Químicos: Composición de la superficie, composición química
- Parámetros Micro estructurales: Tamaño de grano.
- Parámetros geométricos: Dimensiones, topografía de la superficie, geometría.

En el segundo grupo se trata de las propiedades de los elementos interfaciales (lubricantes, fluidos o abrasivos) y el medio ambiente en el que se realice las pruebas.

- Parámetros Físicos: Conductividad térmica, densidad.
- Parámetros Mecánicos: Características Viscosidad-presión, viscosidad-temperatura. Y viscosidad.
- Parámetros Químicos: Adhesión, composición química, acides y humedad.

El funcionamiento del sistema tribológico se caracteriza por los parámetros operacionales, estos se consideran como variables independientes, que se puedan llegar a alterar durante las pruebas. Los parámetros principales que se deben tener en cuenta para esta categoría¹⁶:

- Carga: Esta se define como la carga total la cual actúa en dirección perpendicular a las superficies que se encuentran en contacto y en movimiento relativo.
- Velocidad: Son las componentes y el valor absoluto del vector de la velocidad de las superficies en contacto.
- Tipo de Movimiento: Es la cinemática entre las dos superficies en contacto, esta puede ser rodante, giro, impacto o deslizante. Este movimiento se puede presentar de forma continua, intermitente, oscilante o reversible.

¹⁶ <http://www.arqcon.com.ar/pprof/ppcorrosion.htm>

En la figura 13 se puede observar el cuerpo de equipo de abrasión, y los elementos principales en el ensayo de abrasión.

Figura 13 Equipo de desgaste por abrasión de la Universidad Libre.



Fuente: Autores del Proyecto

8.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Consiste en la programación de actividades de inspección de los equipos que se requieran, en este caso, la cámara salina y el equipo de desgaste por abrasión, con la finalidad de encontrar el estado inicial del equipo, verificar el estado de los componentes y su funcionamiento, y así poder ir creando un plan de aseguramiento de cada uno de los componentes, que lo requieran. Con esto se busca prevenir las fallas y mantener los equipos en óptimo funcionamiento.

Por medio del mantenimiento preventivo, al basarse en el principio de inspección, se pueden detectar anomalías y poder corregirlas en un momento oportuno sin que se produzca una falla. A partir del buen desarrollo de un mantenimiento preventivo se puede obtener experiencia en el diagnóstico de fallas y pronostica un tiempo de vida útil, con lo cual se puede planificar la vida útil o cada cuanto se debe llegar a realizar el cambio de dicho componente¹⁷.

8.5.1 Componentes Críticos De Un Sistema. Con este análisis se puede establecer una jerarquización de los componentes que están involucrados en el sistema que se está analizando, se puede llegar a subdividir los elementos en sub-sistemas y se puedan mantener controlados.

Las metodologías utilizadas para realizar este proceso puede ser de distintas maneras, todo en función de la información que se tenga sobre los componentes

¹⁷ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. 1 Ed. Madrid.: Díaz de Santos, 2013. 320 p. ISBN 9788479785772.

analizados, esta puede ser suministrada directamente por el fabricante, pero en algunas ocasiones el desconocimiento de esta información no puede llegar a obstaculizar este proceso, ante esta situación, se puede llegar a acudir a la recolección de información y análisis que se le haya realizado al equipo durante la puesta a punto, en el cual se deben realizar todos los ajustes necesarios con el fin de cumplir con el funcionamiento requerido.

8.5.2 Definición de Criticidad. Esta se establece en función de cada equipo, depende de la afectación que genera la falla, el más representativo será el que genere mayor impacto en el proceso que se está realizando. La frecuencia es equivalente al número de ocurrencias que presenta esta falla en el periodo de tiempo establecido.

8.5.3 Matriz De Criticidad. Es una herramienta por medio de la cual se puede determinar la criticidad de una unidad o equipo en relación a la consecuencia que pueda llegar a generar esta falla.

La matriz está compuesta por dos ejes, en uno se representa la frecuencia de la falla y en el otro los impactos o consecuencia que pueda llegar a tener este ítem relacionado con el funcionamiento del equipo.

En la tabla 2, se puede identificar los componentes que tienen mayor o menor impacto al sistema, siendo una herramienta útil para poder realizar la jerarquización de los componentes.

Tabla 2 Matriz de Criticidad

FRECUENCIA	5	M	M	A	A	A
	4	M	M	A	A	A
	3	B	M	M	A	A
	2	B	B	M	M	A
	1	B	B	B	M	A
CONSECUENCIAS		1	2	3	4	5

Criticidad B Baja	Criticidad M Media	Criticidad Alta A
----------------------	-----------------------	----------------------

Fuente: Autores del Proyecto

8.5.4 Elementos a tener en cuenta para determinar la criticidad. La criticidad del sistema luego de tener desarrollada la matriz, se puede determinar de manera cuantitativa, al realizar la multiplicación de la probabilidad o frecuencia de ocurrencia que presente la falla, por la suma de todas las consecuencias de la misma, en el proceso de deben establecer rangos de valores para homologar los criterios de evaluación que se van a tener en cuenta. La criticidad se puede calcular de la siguiente manera¹⁸:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}.$$

En el análisis de criticidad se deben tener en cuenta la siguiente información básica para llevar a cabo el proceso.

- Definir y limitar los niveles de análisis.
- Tener la información básica del funcionamiento del equipo.
- Conocer fallas presentadas durante la operación.
- Frecuencia de las fallas.
- Conocer la severidad que genera la falla al equipo.

¹⁸ <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-o-pe>

9 MARCO LEGAL Y NORMATIVO

Para la ejecución del proyecto se tendrán en cuenta las recomendaciones establecidas en las normas técnicas relacionadas con los temas de interés.

- ASTM B117¹⁹ - Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus. Esta norma es la base para la puesta a punto de la cámara salina, además da los parámetros y lineamientos que se deben seguir en un ensayo de niebla salina. En esta se establecen las condiciones para validar un ensayo de cámara salina.
- ASTM G65²⁰ - Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry. Sand/Rubber Wheel Apparatus. Esta norma es la base para la puesta a punto del equipo de abrasión, da los parámetros y lineamientos que se deben seguir en un ensayo de desgaste abrasivo, para una correcta evaluación de los materiales que serán usados en condiciones de desgaste y fricción. De igual manera, ejemplifica la forma correcta en que deben quedar los ensayos.
- Normas ICONTEC²¹, 1486, 4490, 5613. De 2008. Estas normas son la base para la presentación de los documentos, informes y guías de trabajo de este proyecto. Definen los parámetros que se deben tener en cuenta para la realización del documento.

¹⁹ ASTM B117. Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.

²⁰ [2] ASTM G65 - 04(2010). Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus.

²¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de Tesis, Trabajos de Grado y otros Trabajos de Investigación. NTC 1486. Bogotá D.C.: 2008. 42 p.

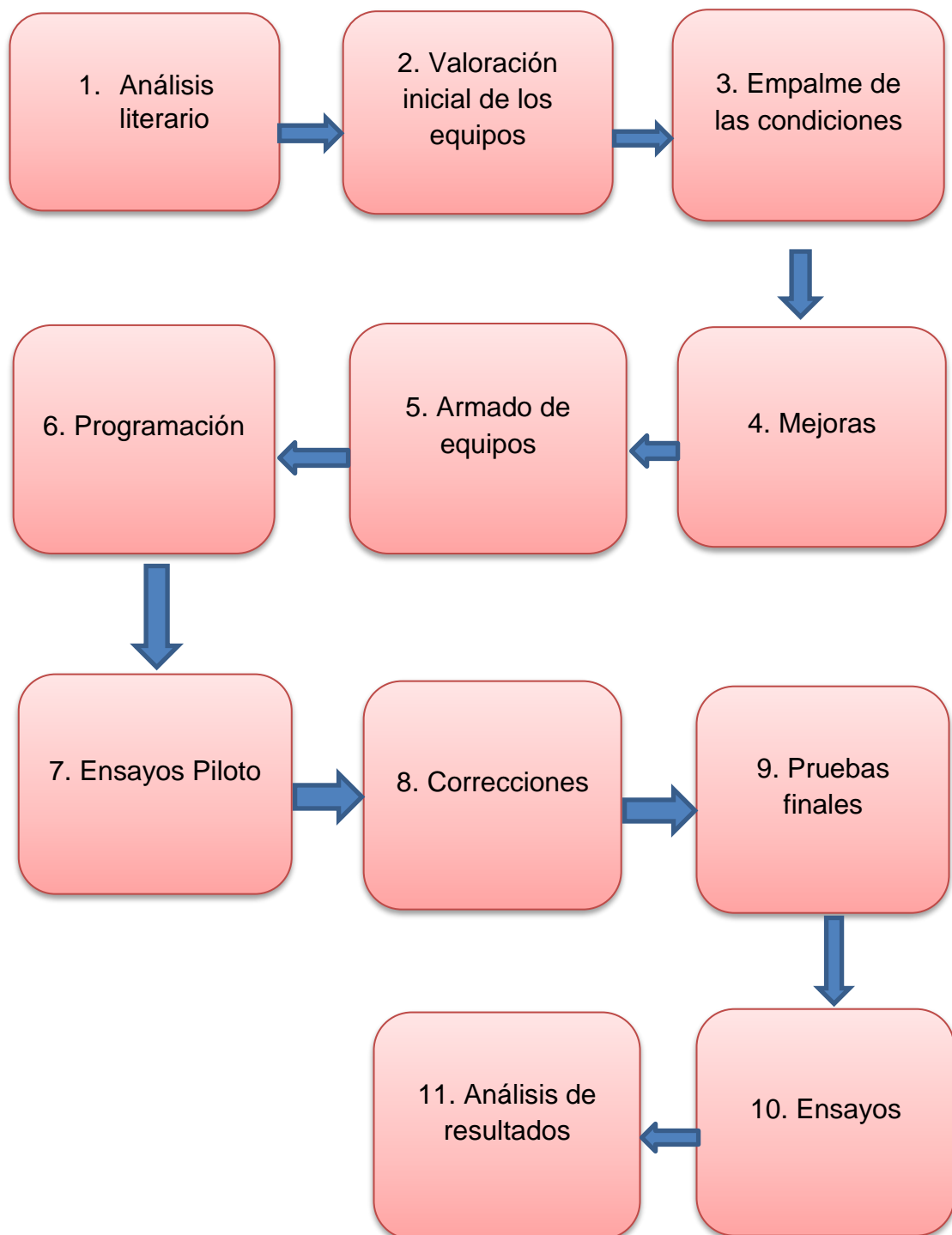
10 DISEÑO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de este proyecto se realizará un diseño metodológico en función de las recomendaciones que se establecen en las normas técnicas ASTM B117 para la Cámara Salina y ASTM G65 para el Equipo de Desgaste por Abrasión. Con el fin de evaluar los pasos a realizar para la reconstrucción de los equipos, bajo los parámetros y límites de tolerancia establecidos en su respectiva norma.

- Análisis literario: es el proceso de estudio y recopilación de información respecto a los propósitos y funcionalidades de los equipos para este caso las normas ASTM G 65 Y B 117
- Valoración inicial de los equipos: verificar directamente sobre los equipos para determinar su estado e identificar las fallencias
- Empalme de las condiciones: es la organización de las fallencias que presentan los equipos respecto de lo que exige la norma, con el fin de determinar que partes o componentes hay que cambiarlos, cuales se reconstruyen y cuales hay que reparar
- Mejoras: desarme de piezas ya sea para ser reemplazadas o reconstruidos o para ser reparadas en el caso de se puedan
- Armado de equipos: Ensamble de equipos con las nuevas piezas y los componentes reconstruidos
- Programación: Programación de los equipos en sus componentes electrónicos bajo las condiciones de las normas, en caso del equipo de abrasión programación del variador de velocidad y en la cámara salina programación del software de equipo
- Ensayos pilotos: primeras pruebas para validar el funcionamiento del equipo bajo los parámetros de las normas, e identificar posible errores o problemas que requieran ajustes
- Correcciones: con la experiencia de los primeros ensayos se puede identificar problemas o inconsistencias a las que se requieran ajustes o mejoras completas
- Pruebas finales: estas son las pruebas para verificar que los equipos están trabajando bajo los parámetros exigidos
- Ensayos: una se verifica que los equipos están funcionando correctamente, se procede a realizar ensayos para justificar que los equipos están trabajando correctamente
- Verificación de resultados: análisis de la prueba realizada en cada equipo

En la figura 14 se presenta el paso a paso del proceso que se llevó a cabo con los equipos del proyecto, para su homologación según las normas correspondientes.

Figura 14 Diseño Metodológico



Fuente: autores del proyecto

En cada equipo se debe realizar una revisión sobre las condiciones iniciales de trabajo en las que se encuentran, con el fin de realizar unas comparaciones sobre las mejoras que se le han realizado a la cámara salina y al equipo de abrasión al finalizar este proyecto, todo en función de las normas técnicas referentes a cada ensayo.

El planteamiento del proyecto está enfocado y basado de una manera en que se pudieran evaluar las condiciones ideales de exposición en materiales que son establecidas según las recomendaciones que dan las normas técnicas. En cada uno de estos ensayos están involucradas distintas variables, por tal razón y para identificar los datos donde interviene las principales variables de los ensayos, el diseño metodológico se basará en un *Diseño Factorial*, pues por medio de este se analizarán de manera simultánea y aleatoria dos o más variables.

Este *Diseño Factorial* se ha utilizado en variedad de investigaciones que asemeja a los requerimientos y condiciones que se tienen en este proyecto, razón por la cual se puede sacar provecho al poder comparar las condiciones iniciales y comparar en base al resultado final del proyecto²².

Las distintas ventajas que se pueden obtener con un *Diseño Factorial* es la de estudiar los principales efectos, efecto por la interacción de variables y realizar una ponderación sobre los que revisten el interés e importancia esto con el fin de tener más control sobre los componentes de los equipos relacionados con estas variables. Con el *Diseño Factorial* se puede lograr una reducción en la varianza del error experimental de los datos recolectados, de esta manera se aumenta la precisión y confiabilidad del experimento.

10.1 CÁMARA SALINA

Las variables analizadas serán Temperatura, Presión y Tiempo de exposición. Cada uno de los cuales tendrá tres niveles, definidos como bajo, medio y alto. A partir de las variables y niveles establecidos se generan las distintas combinaciones posibles. Los valores establecidos en los niveles se toman según recomendación de la norma técnica ASTM B117, la cual establece un rango de tolerancia para estas variables en cada nivel. Para estas condiciones se ajusta un *Diseño Factorial* 3^k el cual es un arreglo de k variable o factores en los cuales cada uno tiene 3 niveles, se hace referencia a cada nivel como bajo, medio y alto. En la tabla 3 se puede ver las variables de temperatura, presión y tiempo en tres niveles, bajo, medio y alto, con la información consignada en la tabla procedemos a realizar el diseño factorial.

²² MONTGOMERY, Douglas. Diseño y análisis de experimentos. 2 ed. México DF. Limusina S.A. 2004. 692 p. ISBN 968-18-6156-6.

Tabla 3 Variables y Niveles involucrados en el Diseño Factorial.

Variables	Niveles		
	Bajo	Medio	Alto
Temperatura (°C)	34	35	36
Presión (PSI)	10	15	25
Tiempo de Exposición (h.)	300	400	500

Fuente: Autores del Proyecto.

Ecuación 2 Diseño factorial

$$nC_r = \frac{n!}{(n-r)! * r!}$$

Fuente: MONTGOMERY, Douglas. Diseño y análisis de experimentos. 2 ed. México DF. Limusina S.A. 2004. 692 p. ISBN 968-18-6156-6

En la ecuación tenemos que n es la población de variables, en este caso 3 condiciones en 3 niveles nos da una población de 9 y r el valor de las variables que se puede controlar en la cámara salina 2; la presión y la temperatura, por otro lado, el tiempo lo determina quien realiza el ensayo a partir de las características, propiedades y aplicación en la cual va a usar el material de estudio.

$$9C_2 = \frac{9!}{(9-2)! * 2!}$$

36 Combinaciones

Lo que da 36 combinaciones posibles entre las variables y sus respectivos niveles, este valor será tomado como punto de referencia sobre el número de datos mínimos de muestras que se deben someter a exposición en niebla salina para validar su puesta a punto. El objetivo del proyecto no es el análisis de los resultados obtenidos en un material específico, por tal razón la validación se realizará contando el tiempo de operación de la máquina. Sin dejar de un lado las recomendaciones que establece la norma ASTM B117, en la cual hay establecidos requerimientos de operación²³.

10.2 EQUIPO DE DESGASTE POR ABRASIÓN

Para este caso se toman las recomendaciones que se establece en la norma técnica ASTM G65 para el equipo de desgaste por abrasión. En la que se establece que se deben realizar por lo menos cinco pruebas con el fin de

²³ MONTGOMERY, Douglas. Diseño y análisis de experimentos. 2 ed. México DF. Limusina S.A. 2004. 692 p. ISBN 968-18-6156-6.

establecer precisión y un margen de error entre las mediciones. Al realizar los ensayos de control donde se busca que las condiciones y resultados y se mantengan de la manera más constante posible, luego de verificar que los ensayos dan resultados satisfactorios, si el equipo de desgaste por abrasión deja de usarse por un lapso de 2 meses, es necesario realizar mínimo tres ensayos, donde se evaluará de igual manera una concordancia y constancia entre los resultados obtenidos con el fin de verificar las condiciones de trabajo del equipo.

Para hacer esta verificación y llevar un control solo basta con tener un registro en un formato de datos que recomienda la norma técnica ASTM G65, donde se involucran todas las variables que están relacionadas con el equipo.

10.3 REPETITIVIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN LOS ENSAYOS

- **Repetitividad (r).** Según lo referencia el Vocabulario Internacional de Metrología- Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (*VIM*), es la proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas, dentro de un conjunto de condiciones en las que se incluyen el mismo procedimiento de medida, el mismo sistema de medida, mismas condiciones de operación, de igual manera la medición debe hacerse al mismo objeto o a un objeto similar.
- **Reproducibilidad (R).** Según el Vocabulario Internacional de Metrología- Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (*VIM*), hace referencia a la proximidad de concordancia que pueda haber entre los resultados de medición de manera sucesiva de la prueba, dentro de un conjunto de condiciones en las cuales se incluyen distintos operadores, sistemas de medidas y mediciones repetidas de los mismos objetos u objetos similares para analizar.

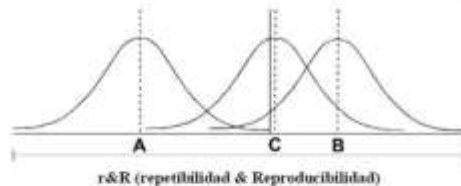
Para tener reproducibilidad se hace necesario que se especifique que condición se debe cambiar, pueden ser el método de medición, el principio de la medición, instrumentos de medición utilizados, observador, tiempo, patrón de referencia, condiciones de uso²⁴.

Se puede expresar la reproducibilidad de manera cuantitativa en términos de la dispersión característica al realizar la prueba y los resultados obtenidos.

²⁴ RUIZ CARREÑO, Juan C; MONTAÑEZ GÓMEZ. Robinson. Validación de la repetibilidad y la reproducibilidad del ensayo bajo carga monotonica en mezclas asfálticas. Proyecto de Grado de ingeniero Civil. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander. 2011. 140 p.

En la figura 15 se muestran la representación de la Repetitividad la Reproducibilidad en un ensayo.

Figura 15 Repetitividad y Reproducibilidad.



Fuente: Internet

http://www.prospeccionconsultora.com/wp-content/uploads/2013/09/foto_rep3.jpg

10.4 CALIBRACIÓN

Consiste en un conjunto de operaciones que se realizan en condiciones de trabajo específicas y se hacen en función de las recomendaciones establecidas por una norma técnica ASTM, donde se utilice el mismo sistema de medición, utilizar un material de referencia y magnitudes establecidas.

Es una verificación que puede asegurar que entre los valores del estándar de función referenciados en la norma técnica y los parámetros de funcionamiento que tienen el equipo sean los mismos, para garantizar trabajar bajo norma y que los desvíos que se presenten sean inferiores a los errores máximos que son permitidos.

10.5 METODOLOGÍA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

- **Mejorar el funcionamiento del equipo de desgaste abrasivo de la Universidad Libre según norma ASTM G-65.**

Al realizar una verificación para la que se lleve el registro de las condiciones actuales del equipo y por medio de esta ir paso a paso realizando un seguimiento de las actividades de mantenimiento y configuración que se le van ejecutando, con el fin poder evaluar un antes y un después al finalizar el proyecto, y tener datos comparativos y actividades realizadas, para evidenciar que las modificaciones realizadas al equipo de abrasión están en función de la norma.

- **Validar mediante pruebas el equipo de desgaste abrasivo, donde se evalúe el ensayo.**

Siguiendo las recomendaciones establecidas por la norma técnica ASTM G65, se realizarán el número de pruebas que allí se mencionen con la finalidad de poder verificar la repetitividad y reproducibilidad que tenga el ensayo, donde se comparan los resultados en búsqueda que sean aceptables y constantes en las pruebas realizadas.

- **Elaborar un manual de funcionamiento y de mantenimiento preventivo de los componentes críticos del equipo de desgaste por abrasión de la Universidad Libre.**

Al realizar las pruebas para verificar la puesta a punto del equipo y de haber corroborado que trabaja de manera adecuada según la norma técnica ASTM G65, se realizará una guía paso a paso sobre cómo se debe ejecutar el ensayo en este equipo, esta guía de igual manera servirá como guía de práctica de laboratorio, que los estudiantes conozcan del ensayo y la forma de realizarlo. Y con ayuda de la verificación del estado del equipo se reportarán las actividades mantenimiento realizadas, se procederá a realizar la guía de mantenimiento preventivo sobre los componentes que se han clasificado críticos.

- **Mejorar el funcionamiento de la cámara salina para el estudio de la corrosión según norma técnica ASTM B117 o equivalente NTC 1156.**

Por medio de un seguimiento al funcionamiento del equipo en la que se lleve el registro de las condiciones iniciales del equipo y por medio de esta ir paso a paso realizando un seguimiento de las actividades de mantenimiento y configuración que se le van realizando, con el fin poder evaluar un antes y un después luego de realizar el proyecto, con la finalidad de tener datos comparativos y actividades realizadas para sustentar las mejoras hechas a la cámara salina.

- **Validar mediante pruebas la cámara salina para el estudio de la corrosión, donde se evalué el ensayo.**

Siguiendo las recomendaciones establecidas por la norma técnica ASTM B117, se realizarán el número de muestras que dieron como resultados del *Diseño Factorial* con la finalidad de poder verificar la repetitividad y reproducibilidad que tenga el ensayo, de igual manera la validación se hará contabilizando el tiempo de trabajo

acumulado por la cámara salina, realizando pruebas de otros proyectos. La que podrá justificar el buen funcionamiento del equipo.

- **Elaborar un manual de funcionamiento y de mantenimiento preventivo de los componentes críticos de la cámara salina de la Universidad libre.**

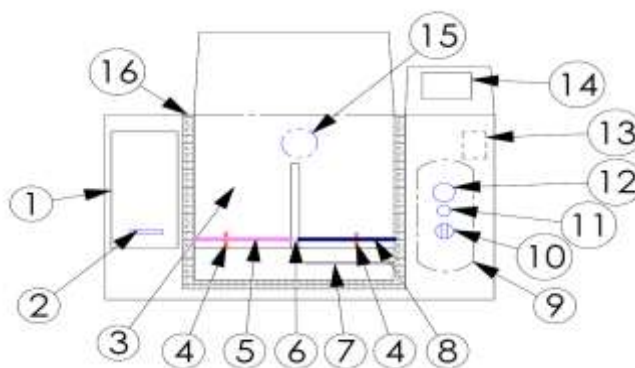
Luego que se verifique que la cámara salina se encuentra trabajando según las recomendaciones de la norma técnica ASTM B117 o equivalente NTC 1156, se procederá a realizar una guía paso a paso en la que se explicará la forma de operar el equipo de cámara salina, el cual servirá también como guía de laboratorio para que los estudiantes conozcan el ensayo y la forma de realizarlo. Y a partir del seguimiento a las actividades de mantenimiento que se le realizaban al equipo, se podrá elaborar la guía de mantenimiento preventivo de los componentes críticos de la cámara salina.

Las pruebas que se realicen para la respectiva validación de cada uno de los equipos, serán con pruebas en materiales de muestra y de igual manera se utilizarán materiales de otros proyectos de grado que requieran el uso de los equipos. Cabe resaltar que estas pruebas para proyectos de grado serán realizadas cuando los equipos ya se encuentren en correcto funcionamiento, con la finalidad de no dar resultados erróneos o llegar a afectar la integridad del material.

11 EQUIPO DE CÁMARA SALINA PARA EL ESTUDIO DE LA CORROSIÓN

El reconocimiento del equipo, su funcionamiento, componentes, e identificación de fallas que se pudieran presentar se realizó durante un periodo de tiempo cercano a dos meses, en los cuales, por medio de pequeños ensayos y verificaciones, se logró llevar de manera paulatina el equipo de cámara salina a su puesta a punto. La figura 16 es el esquema de la ubicación de los componentes de la cámara salina, no fue posible conseguir una hoja de vida del equipo, ya que el fabricante se cohíbe de dar esta información por cuestiones políticas y admirativas.

Figura 16 Esquema De La Cámara Salina



Fuente: Autores del Proyecto.

1. Tanque de solución Salina.
2. Nivel de Agua en tanque.
3. Cámara de Exposición.
4. Sensor de temperatura.
5. Línea de Solución Salina.
6. Atomizador.
7. Resistencia.
8. Línea de Aire a presión.
9. Tanque humificador
10. On/Off
11. Válvula de Presión.
12. Manómetro de presión.
13. Bomba Peristáltica.
14. Panel de Control.
15. Agujero de salida al ambiente.
16. Sello de Agua.

11.1 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DE CÁMARA SALINA

11.1.1 Línea de Suministro de Solución. Manguera de $\frac{1}{4}$ de pulgada que transporta la solución salina desde la válvula solenoide hasta la entrada de la bomba peristáltica, por la línea de salida de la bomba, continua la manguera que va a terminar su recorrido en el aspersor. La solución se bombea a 0.5 Litros/hora.

11.1.2 Línea de Suministro de Aire. Manguera de $\frac{1}{4}$ de pulgada para el transporte de aire que se suministra a la cámara salina, pasa por el manómetro de presión y continúa directamente para conectar con el aspersor, que al mezclarse con el agua podrá atomizar la solución. La presión requerida para el ensayo, esto según los requerimientos de la norma ASTM B-117 es de 10 a 20 PSI y debe tener un suministro aproximado de $0.116 \text{ ft}^3/\text{s}$.

11.1.3 Atomizador: Cuenta con dos entrada, aire y agua, el aire y agua al estar presurizados, se atomizan en un rocío, formando la niebla salina la cual está siempre de manera constante al interior de la cámara.

En la figura 17 se puede ver el atomizador, que es el encargado de generar la neblina dentro de la cámara salina.

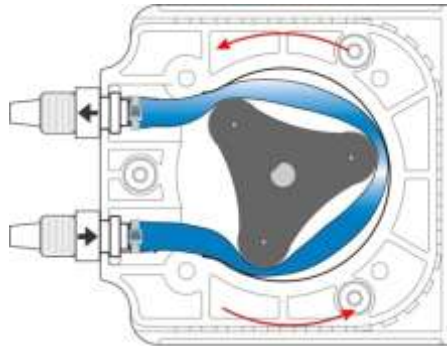
Figura 17 Atomizador



Fuente: Autores del Proyecto

11.1.4 Bomba Peristáltica. Al interior de la bomba, cuenta con una manguera, el funcionamiento está basado en la compresión de una manguera por la que se transporta la solución salina, en la figura 18 se puede observar un bosquejo del funcionamiento de la bomba peristáltica, para cumplir la función de dosificar.

Figura 18 Funcionamiento Bomba Peristáltica



Fuente: <http://cdn.blue-white.com/wp-content/uploads/2014/11/SqueezeDiagram.jpg>

11.1.5 Racores. Pieza metálica roscada que se utiliza para conectar las distintas líneas, tanto de aire como de solución salina, debe estar conectada correctamente con el fin de evitar fugas ya sea de aire o solución salina. En la figura 19 se ven los distintos racores que tiene la cámara, son los encargados de conectar las líneas hidráulicas y neumáticas.

Figura 19 Tipos de racores



Fuente: <http://www.epys.com.co/img/festo%20racores.jpg>

11.1.6 Válvula Solenoide. Es una válvula eléctrica utilizada para controlar el flujo de la solución salina, está ubicada a la salida del tanque de la cámara y la transmite directamente por la línea de la solución salina que entra a la bomba peristáltica.

La válvula solenoide Figura 20, mantiene la línea de solución dosificada, en la figura 21 se observa la empaquetadura interna de la válvula y en figura 22 se ve un bosquejo del funcionamiento de la válvula solenoide.

Figura 20 Válvula Solenoide



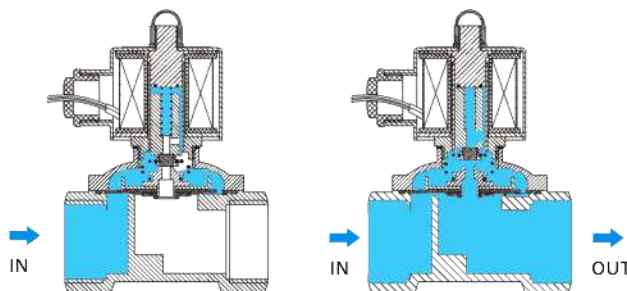
Fuente: Autores del Proyecto

Figura 21 Empaque de la Válvula



Fuente: Autores del Proyecto

Figura 22 Funcionamiento Válvula Solenoide



Fuente: http://cdn2.bigcommerce.com/server2300/tntau7/product_images/uploaded_images/2w250-diagram.gif

11.1.7 Resistencia. Ubicada en la parte inferior de la cámara, es la encargada de aumentar o reducir la temperatura en la cámara, todo en función de la que le sea programada.

La figura 23 muestra la resistencia de la cámara salina que es la encargada de elevar la temperatura durante el ensayo de neblina salina.

Figura 23 Resistencia de la cámara salina



Fuente: Autores del Proyecto.

11.1.8 Drenaje de la cámara. Está ubicada en el fondo del tanque de la cámara, por el cual se puede drenar el exceso de solución salina que se tenga, da salida directamente a la tubería de desagüe que está bajo la cámara salina.

11.1.9 Manómetro de Presión de Aire. Ubicado en la parte frontal de la cámara, está conectado para medir la presión de la línea de aire a presión. De igual manera en la parte inferior al manómetro tiene una llave de graduación para poder aumentar o reducir la presión que entra al sistema, figura 24.

Figura 24 Manómetro.



Fuente: Autores del Proyecto.

11.1.10 Tanque Humidificador. Está ubicada a un costado de la bomba peristáltica, este tanque se encarga de calentar el agua a una temperatura superior de la que hay al interior de la cámara salina, calentar el agua ayuda a aumentar la humedad y temperatura al interior de la cámara. Se debe tener en cuenta que este tanque debe ser refrigerado. Figura 25.

Figura 25 Tanque Humidificador



Fuente: Autores del Proyecto

11.2 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE UN ENSAYO EN CÁMARA SALINA

En un ensayo acelerado de corrosión se pretende realizar un análisis de laboratorio, en el cual se logre evaluar cuál será el comportamiento de un material, frente a la corrosión. De esta manera se puede lograr una caracterización más rápida del material en estudio. El estudio y caracterización de materiales por medio del ensayo de cámara salina, son ampliamente utilizados en el desarrollo de toda clase de recubrimientos metálicos, en los que se evalúan su eficacia para salvaguardar la integridad del material base.

El principio básico del ensayo consiste en exponer la pieza objeto del ensayo, durante un tiempo determinado, a un ambiente constante de niebla salina y en condiciones controladas. El tiempo que transcurre desde que se coloca la pieza a la niebla salina, hasta que comienza el ataque de la corrosión, se puede conocer una medida de la capacidad de resistencia del metal expuesto o del recubrimiento al ataque corrosivo.

La exposición a la niebla salina se da por medio de pulverizar al interior de la cámara, una mezcla de 5 partes de cloruro de sodio (NaCl) en 95 partes de agua destilada, a una temperatura de 35 °C, este ensayo no se puede llegar a extrapolar a las condiciones reales que tendrá la pieza al estar en servicio, este

ensayo es útil a nivel comparativo y dará unos lineamientos básicos de comportamiento que tendrá la pieza al estar sometida a ambientes corrosivos.

11.2.1 ALCANCE DE LA NORMA ASTM B117 AL EJECUTAR EL ENSAYO

Antes de cualquier operación del equipo se debe remitir a los parámetros establecidos directamente por la ASTM B117, la cual es la práctica recomendada en la que se especifica el procedimiento y las condiciones mínimas para la ejecución de un ensayo de cámara salina.

Se debe tener en cuenta que por medio de esta norma no se pueden establecer tiempos de exposición o la selección del número de muestras para el ensayo ni tampoco la interpretación de los resultados obtenidos.

También se debe tener en cuenta que esta norma no está enfocada en evaluar o considerar los problemas de seguridad, si en llegado caso los pudiese haber, los que estén ligados directamente con su uso. Es el usuario quien debe establecer condiciones mínimas para su operación con la finalidad de no se genere un problema de seguridad para el operador o su entorno²⁵.

11.3 CONDICIONES INICIALES DE LA CÁMARA SALINA

Desde el inicio del proyecto, la Cámara Salina ubicada en el laboratorio de Molinos de la Universidad Libre, no se encontraba en funcionamiento, por tal razón no cumplía con los requerimientos establecidos en la norma ASTM B117 que dicta los parámetros para realizar un ensayo de corrosión mediante exposición a niebla salina.

Al conocer la forma en que debe operar el equipo y la función que tienen cada uno de sus componentes, se pudieron encontrar las siguientes fallas que no permitían la operatividad del mismo.

- Polvo en los componentes eléctricos.
- Obstrucción en el desagüe de la cámara.
- Fugas en las conexiones de la línea de agua.
- Fugas en la conexión de las líneas de transporte de la solución salina.
- Fugas en las conexiones de las líneas de aire.

²⁵ ASTM B117. Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.

- Obstrucción por sedimentos en las líneas de transporte de solución salina.
- Obstrucción a la entrada y salida de la bomba peristáltica.
- Suciedad al interior de la bomba peristáltica.
- Obstrucción en el atomizador.
- Bomba peristáltica des calibrada.
- Mala conexión en cableado eléctrico.
- Suciedad sobre la resistencia.
- Tubería con fisuras.
- Válvula solenoide obstruida.
- Válvula solenoide con cableado en mal estado.

La figura 26 muestra las roturas que presentaban las tuberías dentro de la cámara salina, las cuales deben ser reemplazadas. La figura 27 revela que están deteriorados los racores y mala conexión.

Figura 26 Fisuras en las tuberías de la cámara.



Fuente: Autores del Proyecto

Figura 27 Conexiones en mal estado.



Fuente: Autores del Proyecto

El drenaje de la cámara está totalmente contaminado, como se ve en la figura 28, lo que implica revisar, limpiar y de ser el caso remplazar las líneas internas de la cámara salina.

Figura 28 Suciedad en Drenaje



Fuente: Autores del Proyecto

11.3.1 Problemas detectados a consecuencia de las fallas. A raíz de las fallas encontradas, estas generaban problemas en la correcta operación de la cámara salina, debido a que, si se presenta falla en alguno de estos, el proceso se puede ver interrumpido.

- La obstrucción de las líneas de solución salina, no permitía que estas llegaran al atomizador y producir la aspersion de la niebla.
- La obstrucción de la válvula solenoide produce una intermitencia en el paso de agua y que la aspersion de la niebla no sea continua.
- La obstrucción a la entrada y la salida de las líneas en la bomba peristáltica, impide que la solución salina se pueda bombear de la manera correcta y hacerla llegar al atomizador.
- Las fugas en la línea de aire, no permite que llegue la presión suficiente al atomizador.
- La suciedad al interior de la bomba peristáltica y de la manguera, no permiten que el flujo de solución salina sea constante y de acuerdo a lo calibrado.
- La bomba peristáltica tiene un regulador de caudal, el que, al no estar calibrado de la manera correcta, no genera niebla, como consecuencia puede atomizar solo aire o solo agua.
- El polvo presente en el ambiente del laboratorio es uno de los causantes de la contaminación y obstrucción de las líneas de transporte de solución salina, que se acumula al interior de la manguera de la bomba peristáltica y obstruye el paso de la solución al interior de la misma.

- La mala conexión y mal estado en el cableado eléctrico no permiten el correcto funcionamiento de los componentes. En la válvula solenoide se generaba intermitencia en el paso de la solución salina a través de esta. De igual manera la mala conexión de los cables, por estar en mal estado o no tener buen contacto generaba intermitencia en las indicaciones de temperatura.
- Las fisuras presentadas en la tubería y acoples generan fugas de la solución salina que esta almacenada en el tanque de la cámara.
- Los racores presentaban fugas tanto en las líneas de aire como de solución salina. Generando una descompensación en el sistema.
- El tanque humidificador requiere de agua para regular la temperatura al interior de este, la interrupción de este flujo de agua un aumento en la temperatura del tanque, este hecho provoca una alarma que se activa en la cámara.
- El atomizador requiere que el caudal de solución salina y la presión de aire sean constantes, para garantizar que pueda atomizar niebla. De lo contrario si alguno de estos se ve obstruido o con pérdidas, se generará la atomización de solo aire o solución salina, según sea el caso.
- La suciedad que se deposita sobre la superficie de la resistencia, no permite que se aumente la temperatura al interior de la cámara.
- La mala conexión en el cableado produce variaciones significativas en las mediciones del equipo, que se muestran en el tablero de control.
- La obstrucción del drenaje que se encuentra en la parte inferior de la cámara de exposición, no permite que se evacue el agua y puede que esta agua acumulada entre en contacto directo con la resistencia.

11.4 MODO DE OPERACION DEL EQUIPO

Luego de tener todos los componentes conectados correctamente, se procede a conectar la cámara al fluido eléctrico, el equipo necesita la alimentación por medio de una fuente trifásica y de igual manera abrir la llave de agua que se encuentra detrás de la cámara salina, esta agua es esencial para impedir que se incremente la temperatura en el tanque humidificador y se genere una alarma que no permite la aspersión de niebla.

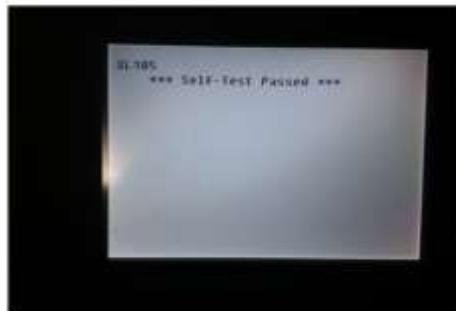
Se debe contar con un suministro constante de aire que mantenga presión 10 psi durante el ensayo. Este es un equipo anexo de la cámara salina, ya que este equipo no cuenta con un suministro de aire a presión propio.

A continuación se explicará el proceso desde el encendido del equipo, operación hasta terminar el ensayo y apagar el equipo.

➤ **Al encender el Equipo.**

Al girar la perilla en la parte frontal de la cámara, se iniciará el sistema, en el cual en la pantalla táctil comenzará a correr automáticamente una revisión para verificar que todo se encuentre funcionando correctamente. El mensaje que saldrá en la pantalla será “Self-Test Passed”. Como se muestra en la figura 29, lo cual indica que la configuración es la correcta.

Figura 29 Pantalla al encender la Cámara Salina



Fuente: Autores del Proyecto

➤ **Pantalla Inicial del Equipo.**

Luego que el equipo hace automáticamente la revisión la cámara salina, se mostrara en la pantalla un menú como el de la figura 30, donde se puede acceder directamente a programar el equipo e iniciar su funcionamiento.

Figura 30 Pantalla de Menú Principal



Fuente: Autores del Proyecto

➤ Menú Config

Al presionar sobre Config, direccionará a la ventana donde se realizará la programación de las temperaturas sobre la que se desea operar el equipo. Figura 31.

Figura 31 Pantalla Configuración.



Fuente: Autores del Proyecto

- 1). Nivel del tanque de Solución Salina.
- 2). Nivel del tanque Humidificador.
- 3). Temperatura del tanque Humidificador.
- 4). Programación de Temperatura del tanque Humidificador.
- 5). Temperatura Ambiente.
- 6). Programación de la temperatura al interior de la cámara.
- 7). Temperatura al interior de la cámara.
- 8). Volver al menú principal.

➤ Menú ASTM B117

Al presionar sobre ASTM B117 de la pantalla táctil, se podrá acceder a la pantalla donde se podrá Iniciar o Finalizar la prueba al presionar sobre el rectángulo rojo On/Off según sea el caso, al estar el rectángulo en verde indica que el equipo está en funcionamiento, al estar en rojo indica que está apagado.

Al presionar sobre el rectángulo de Pausa, este procederá a detener el funcionamiento del equipo y quedará de color Verde, cuando se quiera volver a continuar con el ensayo, se presiona nuevamente sobre el rectángulo.

En la pantalla también se notifica la temperatura ambiente, la temperatura al interior de la cámara y el tiempo de exposición como lo muestra la figura 32. Con el botón volver se regresa a la pantalla de inicio.

Figura 32 Pantalla Astm B117



Fuente: Autores del Proyecto

- 1) Fecha y hora.
- 2) Temperatura ambiente.
- 3) Indicadores de funcionamiento
- 4) Encendido/apagado On/Off y Pausa.
- 5) Regresar al menú Principal.
- 6) Tiempo de Exposición.
- 7) Temperatura de la cámara.
- 8) Hora.

Para tener una información más detallada de modo de operación de la cámara salina consultar el anexo A.

11.5 VALIDACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

Al realizar las modificaciones necesarias en función de lo establecido en la norma ASTM B 117, se requería controlar que las modificaciones y cambios ejecutados, mejoraron el funcionamiento del equipo y que se realizaron de la manera correcta. Por esta razón luego de cada modificación se realizaban pruebas donde se encendía el equipo y se dejaba operativo por periodos de tiempo establecidos,

inicialmente el equipo se encendía por periodos de 24 horas, luego 48 horas y finalmente se dejaba el equipo encendido por periodos de 72 horas, estas verificaciones se realizaban por periodos continuos, en donde de igual manera fueron fuente de información sobre el funcionamiento del equipo y la programación de las actividades de mantenimiento.

Al terminar las pruebas piloto, donde se verificó que el funcionamiento del equipo era el adecuado, se procedió a realizar pruebas por periodos más prolongados de tiempo.

Luego de verificar el correcto funcionamiento del equipo y para su puesta a punto del equipo de Cámara Salina, se realizaron las pruebas para el proyecto “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y MICRO-ESTRUCTURAL DE UNA FUNDICIÓN DE HIERRO ALEADO CON NÍQUEL.” donde se realizó la exposición de probetas por un periodo de 720 horas continuas a niebla salina, los resultados de esta prueba se muestran en la tabla 4.

Tabla 4 Resultados; CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y MICRO-ESTRUCTURAL DE UNA FUNDICIÓN DE HIERRO ALEADO CON NÍQUEL

Muestras sin tratar Ni-Hard						
	Día de análisis	30/07/2015	10/08/2015	18/08/2015	24/08/2015	
Muestra	Peso inicial (gr)	120 hrs	384 hrs	576 hrs	720 hrs	PERDIDA DE MASA (gr)
1	60,3124		60,2594			0,053
2	58,7664		58,7454			0,021
3	58,9443		58,93			0,0143
4	59,1646			59,1444		0,0202
5	57,3052			57,2732		0,032
6	58,5546			58,5215		0,0331
7	57,3414			57,3136		0,0278
8	61,3921	61,39				0,0021
9	56,1811	56,181				0,0001
10	59,4326	59,431				0,0016
11	57,6754				57,616	0,0594
12	58,3739				58,263	0,1109
13	73,904				73,787	0,117
14	93,3476				93,224	0,1236
Promedio de pérdida de masa en %						4,40

Muestras tratadas con recocido Ni-Hard						
Muestra	Peso inicial (gr)	120 hrs	384 hrs	576 hrs	720 hrs	PERDIDA DE MASA (gr)
15	42,2971		42,2921			0,005
16	42,4733		42,4715			0,0018
17	48,0712		48,0698			0,0014
18	39,9901				39,9555	0,0346
19	32,8552				32,8183	0,0369
20	40,1534				40,1376	0,0158
21	42,4152				42,3917	0,0235
22	36,954			36,9323		0,0217
23	40,1692			40,1685		0,0007
24	43,5131			43,5131		0
25	37,7332			37,7332		0
Promedio de pérdida de masa en %						1,29
Acero 1040						
Muestra	Día de análisis	28/07/2015	30/07/2015	10/08/2015	18/08/2015	PERDIDA DE MASA (gr)
26	79,904				79,904	0
27	76,261				76,261	0
28	75,31				74,2957	1,0143
29	76,6584		76,3043			0,3541
30	76,2312			75,4091		0,8221
31	74,9582	74,7871				0,1711
Promedio de pérdida de masa en %						39,36

Fuente: CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y MICRO-ESTRUCTURAL DE UNA FUNDICIÓN DE HIERRO ALEADO CON NÍQUEL.

Se puede determinar de manera rápida que de los materiales usados en este ensayo el más susceptible a la corrosión es el Acero 1040 con una pérdida de masa en gramos del 39,36%, mientras que el Ni- Hard con tratamiento térmico de recosido es el más resistente a un medio altamente corrosivo solo tuvo una pérdida de masa en gramos del 1,29%.

De igual manera se realizaron las pruebas para los proyectos “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN EN LOS RECUBRIMIENTOS 140MXC-560AS, DEPOSITADOS CON LA TÉCNICA DE PROYECCIÓN TÉRMICA POR ARCO ELÉCTRICO MEDIANTE PRUEBAS DE INMERSIÓN Y CÁMARA DE NIEBLA SALINA” en la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos en este ensayo.

Tabla 5 Resultados: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN EN LOS RECUBRIMIENTOS 140MXC-560AS, DEPOSITADOS CON LA TÉCNICA DE PROYECCIÓN TÉRMICA POR ARCO ELÉCTRICO MEDIANTE PRUEBAS DE INMERSIÓN Y CÁMARA DE NIEBLA SALINA.

Probeta	Masa Inicial (gr)	Masa Final (gr)	Pérdida de Masa (gr)
1	30,6283	30,4239	0,2044
2	31,9031	31,8102	0,0929
3	33,5430	33,0153	0,5277
4	31,7838	31,4873	0,2965
5	34,7682	34,6500	0,1181
6	33,4969	33,3959	0,1010
7	29,1240	28,9073	0,2167
8	28,4661	28,1638	0,3024
9	32,0064	31,8092	0,1972
Promedio de pérdida de masa en (%)			22,85

Fuente: ESTUDIO DEL FENÓMENO DE CORROSIÓN EN LA MEZCLA DE RECUBRIMIENTOS 140 MXC-530AS ASPERSADOS TÉRMICAMENTE POR LA TÉCNICA DE ARCO ELÉCTRICO SOBRE ACERO AISI SAE 4340.

Este ensayo tuvo una duración de un periodo de 360 horas de exposición continua a niebla salina y se determina que los recubrimientos 140mxc-560as, depositados con la técnica de proyección térmica por arco eléctrico mediante pruebas de inmersión y cámara de niebla salina, presentaron una pérdida de masa en gramos del 22,85%.

Anterior a este proyecto se habían realizado pruebas para el proyecto “ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN MEDIANTE CÁMARA SALINA EN RECUBRIMIENTOS 140MXC-560AS APLICADOS POR LA TÉCNICA DE ASPERSIÓN TÉRMICA POR ARCO ELÉCTRICO SOBRE SUSTRATO A BASE DE HIERRO”, en la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos en este ensayo.

Tabla 6 Resultados, “ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN MEDIANTE CÁMARA SALINA EN RECUBRIMIENTOS 140MXC-560AS APLICADOS POR LA TÉCNICA DE ASPERSIÓN TÉRMICA POR ARCO ELÉCTRICO SOBRE SUSTRATO A BASE DE HIERRO”

Número de muestra	Tiempo de Inmersión (hr)	Peso en (gr)		Masa Perdida (g)
		Inicial	Final	
1	40	27.048	27.018	0,003
2	80	26.481	26.445	0,0036
3	155	27.807	27.734	0,0073
4	325	27.409	27.318	0,0091
5	40	26.319	26.286	0,0033
6	80	26.212	26.165	0,0047
7	155	25.977	25.904	0,0073
8	325	25.076	24.992	0,0084
Promedio de pérdida de masa en (%)				0,5838

Fuente: ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN MEDIANTE CÁMARA SALINA EN RECUBRIMIENTOS 140MXC-560AS APLICADOS POR LA TÉCNICA DE ASPERSIÓN TÉRMICA POR ARCO ELÉCTRICO SOBRE SUSTRATO A BASE DE HIERRO.

Este ensayo tuvo una duración de 200 horas de exposición continua a niebla salina y nos permiten determinar que los recubrimientos 140mxc-560as aplicados por la técnica de aspersión térmica por arco eléctrico sobre sustrato a base de hierro presentaron una pérdida de masa en gramos del 0,58%.

Los periodos de las pruebas piloto que se desarrollaron por un periodo aproximado de dos meses, y las pruebas posteriores donde se realizaron, los estudios de corrosión en los proyectos anteriormente mencionados, acumulan un tiempo cercano a las 1740 horas. Durante el desarrollo de estas pruebas se superó el número que se determinó en el diseño factorial de 36 datos o muestras que se debían realizar para validar el ensayo. Adicionalmente al momento de la culminación de este documento, se habían realizado más horas las cuales no fueron contabilizadas.

11.6 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO EN CÁMARA SALINA

Las actividades de mantenimiento realizadas han sido programadas, por medio de la experiencia y en función de la información recolectada durante la puesta a punto del equipo y bibliografía encontrada. Hay que tener en cuenta que se deben conocer los principales componentes, de los cuales dependerá el adecuado funcionamiento del equipo.

Es necesario identificar los componentes críticos para poder establecer tareas de mantenimiento.

11.6.1 CRITICIDAD DE COMPONENTES DE LA CÁMARA SALINA

Para realizar la criticidad en los componentes de la cámara salina, se dividió en dos etapas, una es el periodo inicial de mes y medio en el cual se identificó cada uno de los componentes del equipo y su funcionamiento, con el fin de poder detectar las posibles fallas que tuviera el equipo, y poder darle solución a esta. Como segunda medida en un periodo de dos meses, durante las pruebas iniciales donde el equipo estaba en funcionamiento, se identificó cuáles eran los problemas presentados y la frecuencia que estos tenían, con el fin de poder realizar la matriz de criticidad que dará un lineamiento básico, para realizar las actividades de mantenimiento respectivas.²⁶

Los componentes relacionados en la tabla 1 del anexo A, son los que durante el desarrollo de las pruebas preliminares y finales, presentaron alguna falla, que interfirió en la correcta operación del equipo y son los que se han podido identificar como necesarios para su funcionamiento. En la tabla 7, se relaciona la ponderación utilizada.

Tabla 7 Ponderación

Alto	25 - 20
Medio	19 - 10
Bajo	9 - 1

Fuente: Autores del Proyecto

²⁶ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. 1 Ed. Madrid.: Díaz de Santos, 2013. 320 p. ISBN 9788479785772.

Tabla 8 Criticidad de componentes de Cámara Salina

Sub-Sistema	Componentes	Falla	Severidad	Frecuencia	Criticidad	
Sistema Hidráulico	Línea de Suministro de Solución	No hay paso de solución	5	3	15	Medio
	Bomba Peristáltica	No bombear agua	5	2	10	Medio
	Racores	Fugas en conexiones	3	1	3	Bajo
	Válvula de Drenaje	Fugas de Agua	3	1	3	Bajo
	Atomizador	No hay aspersión de niebla	5	2	10	Medio
Sistema eléctrico	Tanque Humidificador	Aumento de Temperatura	5	1	5	Bajo
	Resistencia	No aumenta la temperatura en la cámara	5	1	5	Baja
	Válvula Solenoide	No hay paso de Agua	4	2	8	Bajo
Sistema Neumático	Línea de Suministro de Aire	Presión insuficiente	4	1	4	Bajo
	Manómetro presión de aire	Lecturas Incorrectas	4	1	4	Bajo
	Compresor	No suministra presión de Aire	5	4	20	Alta

Fuente: Autores del Proyecto

Una vez se conocen los componentes más críticos de la cámara salina se determinan las tareas de mantenimiento recomendadas por los autores del proyecto, como el compresor, las líneas de suministro y la bomba peristáltica.

11.6.2 TAREAS DE MANTENIMIENTO EN CÁMARA SALINA

Al identificar los componentes críticos, se evidencia que las actividades de mantenimiento frecuentes se hacen necesarias para garantizar la operación del equipo. Son tareas sencillas pero esenciales, que se deben realizar antes y después de utilizar el equipo de cámara salina.

La información específica de la Cámara Salina con que cuenta la universidad, no se pudo obtener directamente por el fabricante, así que por medio de las actividades realizadas y con el conocimiento del funcionamiento de la misma, se lograron identificar las tareas necesarias para poder poner en funcionamiento el equipo.

Las siguientes actividades de mantenimiento se deben realizar antes de encender la cámara salina y al terminar el ensayo.

Cuando la cámara salina no ha estado en funcionamiento por un periodo de 30 días o superior, antes de encenderla de nuevo, se deben realizar las actividades de mantenimiento, con el fin de no presentar dificultades y asegurar el funcionamiento continuo de la cámara salina.

Las siguientes actividades se deben realizar con el equipo apagado y desconectado del fluido eléctrico y sin suministro de agua ni aire.

- **Limpieza de Válvula Solenoide:**

Se debe desmontar la carcasa superior de la válvula solenoide ubicada en la parte inferior del tanque de solución salina.

Limpiar el empaque que hay en su interior, para garantizar el paso de la solución. Se debe prestar mucha atención a que el agujero resaltado en el empaque de la válvula en la Figura 33 , no se encuentre obstruido.

Figura 33 Empaque de la válvula Solenoide.



Fuente: Autores del Proyecto

- **Limpieza de la línea de suministro de la solución:**

Esta actividad es una de las principales y más importantes que se deben realizar, debido que la solución salina que se utiliza puede llegar a tener material particulado, que durante el funcionamiento del equipo se va acumulando a lo largo de toda la línea de transporte de la solución, desde la salida del tanque, pasando por la válvula solenoide, bomba peristáltica hasta la entrada al atomizador para formar la niebla salina.

Con ayuda de una manguera y una jeringa se puede retirar el agua que queda en la línea al fondo del tanque, que es el lugar donde más sedimentos se pueden llegar a acumular.

Al desconectar las líneas de suministro de solución que están conectadas en la bomba peristáltica y la línea que va al atomizador, se debe hacer fluir agua limpia por estas líneas, con la finalidad de retirar cualquier clase de sedimento que pueda estar en las líneas de suministro, como se muestra en la figura 34.

Figura 34 Limpieza de las líneas de Solución Salina.



Fuente: Autores del Proyecto

- **Limpieza de la Bomba Peristáltica:**

Se debe retirar la tapa frontal de la bomba figura 35, con el fin de retirar cualquier exceso de sal que se pueda llegar a acumular.

Se deben limpiar las dos conexiones, entrada y salida, ya que en esta parte de igual manera se puede llegar a acumular material que obstaculice el libre paso de la solución.

No se debe someter la bomba a presiones excesivas, o hacer fluir líquidos a elevada temperatura, o químicos muy fuertes, sin seguir las recomendaciones del fabricante²⁷.

El fabricante suministra una tabla de sustancias que se pueden bombear, y las temperaturas de los fluidos. Estas especificaciones dependen del modelo. Para tener mayor claridad sobre las actividades de mantenimiento remitirse directamente al manual de operaciones que se referencia en el documento.

Figura 35 Bomba Peristáltica



Fuente: Autores del Proyecto

- **Verificación De Bomba Peristáltica.**

Antes de iniciar la operación del equipo se debe verificar que el dial de la bomba peristáltica, esté entre 0,5 a 1. Y así garantizar la formación de la niebla en el atomizador.

- **Limpieza de Accesorios:**

Se debe limpiar, los racores de cualquier clase de material que esté acumulado en su interior. De igual manera se debe limpiar el aspersor y verificar que se dé el paso por ambos conectores, tanto de agua como de aire. Y se debe limpiar cualquier clase de suciedad que se encuentre sobre la resistencia. Para información más detallada de las actividades de mantenimiento consultar el anexo A.

²⁷ STENNER Pumps. Manual de Instalación y mantenimiento. Dosificadores Peristálticos. Jacksonville, Florida 32246 USA.

12 EQUIPO DE DESGASTE POR ABRASIÓN

12.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DEL ENSAYO DE ABRASIÓN

Realizar un ensayo de abrasión con éxito, permite evaluar de manera correcta el comportamiento físico de un material que se somete a altas condiciones de fricción, para identificar las principales características de este fenómeno, es importante tener en cuenta dos parámetros importantes.

En primer lugar el buen estado del equipo de abrasión, ya que si este no está funcionando correctamente o no cumple con los parámetros requeridos, según la norma ASTM G-65, los ensayos realizados no serán confiables; y como segunda medida el correcto uso del equipo de abrasión, debido a que una mala manipulación del equipo, no permite realizar un correcto ensayo abrasivo y además podría verse comprometida la integridad del equipo, el ensayo de abrasión, consta básicamente de enfrentar la muestra o probeta con el material de estudio, a una rueda volante recubierta en caucho vulcanizado a una revolución por minuto determinadas (dependiendo el tipo del ensayo) , mientras se deja caer por gravedad el elemento abrasivo en este caso arena.

12.1.1 ENSAYOS DE ABRASIÓN EN CONDICIONES OPERACIONALES

Este ensayo ayuda a determinar las virtudes de un material en condiciones de trabajo abrasivo, un ejemplo común los materiales de las máquinas de la industria cementera, el aspa de las turbinas de los aviones, de los submarinos o barcos, dependiendo de la aplicación se pueden encontrar dos tipos de abrasión, en la figura 36, se puede observar un diagrama de apoyo para operar el equipo.

- **Abrasión controlada y no controlada**

La abrasión controlada, es el caso en donde se puede manipular este desgaste abrasivo, por ejemplo, los frenos de disco de los automóviles y las motos ya que se conocen los materiales de estos componentes; una abrasión no controlada, es el caso en de las maquinas cementeras, ya que en los minerales se pueden encontrar con características, propiedades específicas y variedades en las durezas y composición química, en este caso se aplica el efecto de abrasión entre tres cuerpos.

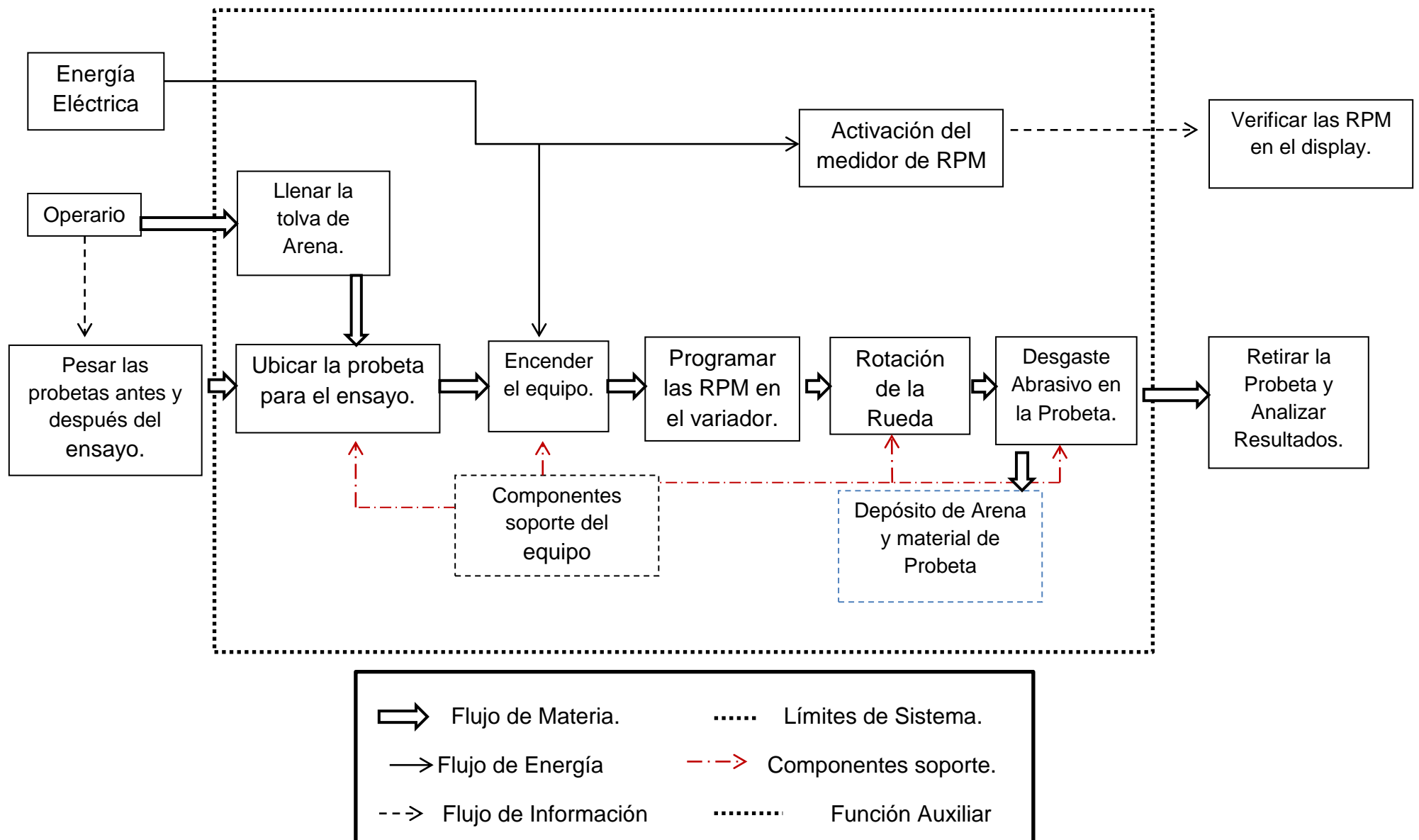


Figura 36 Esquema de operación del equipo de abrasión Fuente: Autores del proyecto.

12.1.2 VARIABLES QUE INCIDEN EN EL DESGASTE

Hay variables que inciden directamente sobre el efecto de desgaste abrasivo de tres cuerpos principalmente se debe tener en consideración; el material, el tamaño de la partícula abrasiva, el tipo de abrasivo.

El abrasivo es directamente proporcional al desgaste, aunque en mucho análisis se determina como una constante, sus características principales su ángulo de incidencia, el tamaño de la partícula, la forma de la partícula abrasiva determinará la geometría de la ranura o labrado, si la partícula y la dureza superficial son constantes, el área de contacto proyectada será constante, pero el área de sección transversal de la ranura resultante de dicho contacto dependerá de la forma de la partícula.

Las propiedades del material que son consideradas para un ensayo de desgaste por abrasión son dureza, modulo elástico, punto de fractura, temperatura de fusión y micro estructura del material.

De la microestructura y geometría que tenga el material abrasivo, depende el labrado o huella que va a quedar en la probeta, características en el abrasivo que se deben de tener en cuenta antes de realizar el ensayo, ya que esto determinará la calidad de la huella que se genere en la probeta.

12.2 RECONSTRUCCIÓN Y MEJORAS SOBRE LA MÁQUINA DE ABRASIÓN

El equipo de abrasión, debe trabajar bajo unas condiciones de funcionamiento según la norma ASTM G65, para lo cual se requiere hacer un una variaciones y reconstrucción del diseño original, estas son algunas de los cambios que se realizan en función de los parámetros de la norma.

12.2.1 Tolva La norma ASTM G65, especifica que la tolva debe tener la capacidad para contener hasta 5 Galones de arena, la tolva inicialmente no cuenta con el volumen que exige la norma por lo que se requiere una tolva con 10 centímetros más de alto y se requiere tener un visor que permita controlar el nivel de arena de manera rápida, por lo tanto se le hace a una de las caras, una ranura, con una cubierta de acrílico que permite visualizar la cantidad, de arena que contiene la tolva.

De igual manera se determina un nivel mínimo de arena para realizar un ensayo de abrasión con éxito, para asegurar que el flujo de arena se mantenga constante durante el ensayo.

A continuación, se demuestra cómo se determinó dichos volúmenes, se considera la forma geométrica de la tolva como, volumen del cilindro y en punta de cono como lo muestra la figura 37.

Figura 37 Tolva inicial del equipo de abrasión, capacidad de arena fuera de la norma.



Fuente: Autores del Proyecto.

Ecuación 3 Volumen de la Tolva

$$Volumen\ inicial\ de\ la\ tolva = Volumen\ del\ cilindro + Volumen\ del\ cono$$

Fuente: Autores del Proyecto.

Ecuación 4 Volumen del Cilindro

$$\begin{aligned} V_0 &= Volumen\ inicial\ del\ cilindro \\ V_0 &= \text{Área del Cilindro} + \text{Altura del Cilindro} \\ V_0 &= \pi * 0,127^2 m + 0,3m \\ V_0 &= 0.01520 m^3 \\ 1m^3 &= 264.172\ galones \\ V_0 &= 4.01\ galones \end{aligned}$$

Fuente: Autores del Proyecto.

Para determinar el volumen total de la tolva falta determinar el volumen que contiene el cono de la tolva, este volumen se determina de la siguiente manera

Ecuación 5 Volumen del Cono

$$V_{0\text{cono}} = \text{Volumen inicial del cono}$$

$$V_{0\text{cono}} = \frac{\pi * r^2}{3} * h$$

Donde

$$r_{\text{tolva}} = 0,127 \text{ m}$$

$$h_{\text{cono}} = 0,109 \text{ m}$$

Entonces

$$V_{o\text{cono}} = \frac{\pi * 0,127^2 \text{ m}}{3} * 0,109 \text{ m}$$

$$V_{o\text{cono}} = 0,001841 \text{ m}^3$$

$$V_{o\text{cono}} = 0,486 \text{ galones}$$

Como el volumen total inicial de la tolva es de:

$$V_{o\text{tolva}} = V_{o\text{cilindro}} + V_{o\text{cono}}$$

$$V_{o\text{tolva}} = 4,496 \text{ galones}$$

Fuente: Autores del Proyecto.

Por la norma ASTM G65 la tolva debe tener la capacidad de contener mínimo 5 galones de arena, se decide aumentar la altura del cilindro, para aumentar la capacidad volumétrica de la tolva.

Para determinar que tanto se debe extender el cilindro, se toma la ecuación que se usó para calcular el volumen del cilindro de la tolva inicialmente, para saber la altura necesaria para contener los 5 galones de arena que contempla la norma ASTM G65.

Ecuación 6 Altura final de la tolva

$$\text{Altura del final del cilindro} = \frac{V_f \text{ del cilindro}}{\text{Area del cilindro}}$$

Fuente: Autores del Proyecto.

Se toma como base el volumen requerido $V_{f\text{cilindro}}$ de 4.52 galones o 0.01894 m^3 y el área del cilindro será la misma del cálculo inicial ya que el diámetro de la tolva no se va a cambiar, se determina que el alto requerido es equivalente a:

$$\text{Altura del cilindro} = \frac{0.01894\text{m}^3}{0.0506\text{m}^2}$$

$$\text{Altura del cilindro} = 0.374\text{ m}$$

Se requiere que el cilindro de la tolva tenga 37 centímetros de largo, para que la tolva contenga los 5 galones requeridos por la norma ASTM G65.

Como la tolva inicialmente solo cuenta con un cilindro de 30 centímetros de largo, por lo tanto, se soldada una lámina de 10 centímetros adicionales al largo del cilindro para que el cilindro de la tolva tenga finalmente 40 centímetros de largo, y tenga el volumen necesario para contener los 5 galones de arena que se exige la norma ASTM G65. Como lo muestra la figura 38.

Figura 38 Modificación y fabricación de la tolva con la capacidad de la norma.



Fuente: Autores del Proyecto.

En la parte superior de la tolva, se puede ubicar una maya tamiz, para así impedir el paso de cualquier clase de impurezas o contaminantes que pueda tener la arena, los que pueden obstruir el flujo de arena en la boquilla, como tornillos, tapas y demás elementos.

12.2.2 Brazo El brazo, es un componente muy importante dentro del equipo de abrasión, ya que es el encargado de poner en contacto la muestra, o probeta con la rueda volante, durante el ensayo; y contiene los contrapesos en un extremo con el fin de aplicar la fuerza normal que somete la muestra con el abrasivo y el caucho de la rueda volante, según la norma ASTM G65 la máxima fuerza perpendicular a la superficie de contacto que se debe aplicar en este ensayo es de 130 Newton. En la figura 39 se compararlos dos brazos, el que tenía inicialmente el equipo fuera de norma y el que se fabricó.

Figura 39 Brazo inicial y nuevo brazo fabricado.



Fuente: Autores del Proyecto.

El brazo debe cumplir con unas medidas específicas, contempladas en la norma ASTM G 65 y debe tener una porta probetas para las muestras y un punto donde apoyar los contrapesos que ayudan a aplicar la fuerza normal a la probeta durante el ensayo. De igual manera el brazo tiene una L, en la que se pueden ubicar las pesas que contempla la norma. Figura 40.

Figura 40 Brazo y soporte para las pesas.



Fuente: Autores del Proyecto.

12.2.3 Porta Probetas. Esta fija al brazo, es donde se apoyarán las muestras para el ensayo, debe cumplir con un espacio dimensional para la muestra ya que según la norma la probeta debe tener unas dimensiones específicas de 3x1x0.5“.

La porta probetas para poder cumplir con las dimensiones que a las muestras deben tener según la norma, se llevó a un proceso de mecanizado, como lo muestra la figura 41, además cuenta con una de sus paredes móviles y ajustable para muestras que superen las dimensiones específicas por la norma.

Figura 41 Fabricación de porta probetas.



Fuente: Autores del proyecto.

12.1.4 Boquilla. Las dimensiones de la boquilla están mencionadas en la norma. La boquilla tiene la función de suministrar de manera constante y en flujo laminar la arena, el caudal puede estar entre 300 y 400 g/min, para que sirva de abrasivo entre la rueda vulcanizada y la probeta.

La boquilla figura 42, es necesario revisarla periódicamente, para garantizar que material particulado como residuos de material desprendido de la muestra o arena no se peguen al cuerpo interno de la boquilla, y puedan cambiar los parámetros de flujo laminar que recomienda la norma.

Figura 42 Flujo laminar de la boquilla.



Fuente: Autores del proyecto.

12.2.5 Rueda Vulcanizada. La rueda vulcanizada es el principal componente de fricción dentro del equipo y por lo mismo dentro del ensayo, es muy importante que la rueda vulcanizada tenga la dureza de 60 shores A, exigidos por la norma ASTM G65, como lo muestra la figura 43, para garantizar la confiabilidad del ensayo y los resultados, es primordial que el vulcanizado se encuentre en buen estado, sin ninguna clase de desperfecto en su superficie, la vida útil del vulcanizado es de 2 a 3 meses aproximados, esto depende directamente de la cantidad de ensayos realizados en este periodo de tiempo.

Figura 43 Dureza de 60 Shores en rueda vulcanizada.



Fuente: Autores del Proyecto.

12.3 COMPONENTES ELÉCTRICOS DEL EQUIPO Y MECÁNICOS

El ensayo de abrasión no se podría realizar, sin que los elementos de control automático, se encargaran de controlar las rpm de la rueda volante a las que se verá sometida la probeta durante el ensayo, para esto se cuenta con:

12.3.1 Motor eléctrico con sensor óptico. El motor es el encargado de hacer girar la rueda para alcanzar las rpm establecidas en la norma ASTM G65, dependiendo el procedimiento que se vaya a aplicar, 100, 1000, 2000 o 6000 rpm, el sensor óptico es el encargado de contabilizar el número de rpm y al cumplir con las programadas, se envía la señal al variador de velocidad para que se detenga el motor.

Con base a esto es importante mantener estos componentes lejos del ensayo abrasivo, para evitar que se contaminen por arena o material residual de la muestra o probeta.

En este caso por disposición inicial de la máquina y por falta de espacio no se puede mover el motor lejos del punto del ensayo, para lo que se decidió sellar el habitáculo del motor y el sensor óptico, con paneles de acrílico, que permiten que estos componentes eléctricos no tengan contacto con la polución que se genera en el lugar donde se realiza directamente el ensayo, y además en la parte trasera se dejan dos rejillas las cuales sirven de ventilación y como acceso directo al motor,

figura 44, es importante mantener el habitáculo sellado como lo dejan los autores del proyecto.

Figura 44 Plaqueta de identificación del motor.



Fuente: Autores del proyecto.

12.3.2 Variador de Velocidad Es un dispositivo cuya función es controlar la velocidad de giro del motor, esto es esencial ya que por medio del sensor óptico indica al variador de velocidad el momento en que debe detener el motor. De igual manera el variador de velocidad permite la configuración de varios parámetros, el tiempo que tarda en dar la primera vuelta, el tiempo en que tarda detenerse. El variador es capaz de proporcionar protección al motor al momento de presentarse una sobre carga. Para realizar los debidos ajustes y dejarlo operativo se acudió a los manuales suministrados directamente por el fabricante Siemens. La referencia del equipo es Sinamics G110²⁸, Figura 45.

Figura 45 Variador de Velocidad Siemens.



Fuente: Autores del proyecto.

²⁸ SIEMENS. Sinamics G110. Introducción de Servicio (resumen). Edición 11/04. Germany. 2004.

12.4 Rodamiento Eje de Salida. El rodamiento del eje de salida, es un elemento de vital importancia dentro del equipo de abrasión, el rodamiento debe tener un buen tiempo de vida útil, ya que si este componente falla, se requiere desarmar cerca del 50% del equipo de abrasión para efectuar el cambio de la pieza, por lo que se determinó la cantidad en horas de vida útil del rodamiento del equipo de abrasión, garantizando así un buen tiempo de servicio, para determinar el tiempo de vida del rodamiento se toma el catalogo para selección de rodamientos del fabricante seiko²⁹, según catalogo se puede determinar la cantidad de horas de trabajo continuo para las que está diseñado el rodamiento, según su aplicación a partir de la Ecuación 7:

Ecuación 7 Vida Útil del Rodamiento

$$Lh = 500(Fh)^{\frac{10}{3}}$$

Fuente: <http://www.nose-seiko.co.jp/esp/image/pdf/s01.pdf>

Donde

Lh = vida util efectiva expresada en horas

fh = factor de vida util efectiva

fh el factor de vida útil efectiva, según el fabricante se determina según la aplicación que se relaciona en la tabla 7.

Tabla 9 Cuadro de factor de vida útil de fabricante Seiko

Condiciones de operación	Factor de vida útil del rodamiento f_h				
	~3	2~4	3~5	4~7	6~
Operación de corta duración u ocasional	Electrodomésticos Herramientas eléctricas	Maquinaria agrícola Equipos de oficina			
Operación de corta duración u ocasional, pero necesidad de asegurar una operación fiable	Equipos médicos Instrumentos de medición	Acondicionador de aire para el hogar Maquinaria de construcción Grúa	Ascensor	Grúa (rueda de polea)	
Operación de larga duración pero no a tiempo completo		Motor de pequeño tamaño Sistema de engranajes en general Maquinaria de carpintería Automóvil de pasajeros	Máquinas herramienta Motor de aplicación general en fábricas Trituradora	Sistema de engranajes importante Rodillo de calendario para caucho y plástico Máquina impresora	

²⁹ <http://www.nose-seiko.co.jp/esp/image/pdf/s01.pdf>

Según las condiciones de uso del fabricante, se determinó para el equipo de abrasión, un factor de vida útil de rodamiento de 3;

$$fh = 3$$

Entonces se determina que la vida útil efectiva del rodamiento es

$$Lh = 500(3)^{\frac{10}{3}}$$

$$Lh = 19470.3 \text{ horas}$$

En conclusión, el rodamiento está diseñado para 19470 horas de trabajo, eso equivale a 811 días, aproximadamente 2,2 años.

Es importante que la parte interna del control de mandos permanezca bajo llave y no se manipulada por alguien ajeno que desconozca el funcionamiento del equipo, el variador de velocidad actualmente se encuentra programado, para el caso de alguna modificación o alteración en la configuración de este, se debe remitir directamente al catálogo suministrado por el fabricante, el cual se encuentra en los anexos de este proyecto. En cuanto al tablero de instrumentos se explicará más adelante que función cumple cada uno de ellos en la ejecución del ensayo.

12.5 FACTORES DE CRITICIDAD

El equipo de abrasión, es una máquina que depende de varios, elementos mecánicos algunos eléctricos mecánicos y electrónicos, por lo cual se determina los componentes que sean más críticos, dentro de la maquina en función del desarrollo con éxito de un ensayo de abrasión, como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10 Criticidad de Componentes de Equipo de Abrasión.

Componentes	Falla	Consecuencia/ severidad	Frecuencia	Criticidad	
Rueda vulcanizada	Caucho vulcanizado deficiente. Incrustaciones	5	4	20	Alto
Boquilla	flujo de arena obstruido	5	2	10	Medio
Motor con sensor óptico	No hay conteo de rpm del motor	3	2	6	Medio
Tablero de mandos	Manipulación del controlador	2	1	2	Bajo
Rodamiento	Desgaste por partículas abrasivas. Vibraciones	5	3	15	Medio

Fuente: Autores de Proyecto

La anterior tabla nos indica que los componentes de mayor atención son el vulcanizado de la rueda volante, la programación de las rpms y controlar las obstrucciones en el flujo del abrasivo

12.6 RECONOCIMIENTO DEL EQUIPO DE ABRASIÓN

Además de tener en cuenta los puntos anteriormente mencionada, como mantenimiento preventivo del equipo de abrasión, es importante saber cómo manipular equipo para evitar daños por mala manipulación

Para explicar paso a paso de cómo realizar de manera exitosa y adecuada un ensayo de desgaste abrasivo.

Una vez se tengan las muestras o probetas del material sobre el que se quiere hacer el ensayo y con la medida exigida por la norma ASTM G65 que son 1" de ancho por 3" de alto por 0.12-0.5" de espesor, como se muestran en la figura 46.

Figura 46 Probetas para el ensayo de Abrasión.



Fuente: Autores del proyecto.

Primero se determina el procedimiento que se va a utilizar según la tabla 11 extraída de la norma ASTM G65.

Tabla 11 Parámetros del Ensayo de Abrasión.

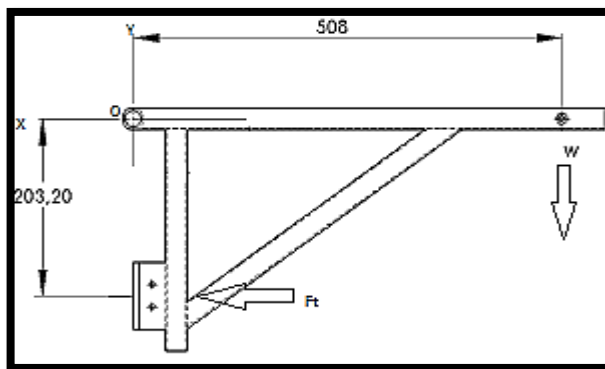
Procedimiento	Fuerza sobre la Probeta N ^B (lb)	Revoluciones de la Rueda	Abrasión Lineal	
			m	(ft)
A	130 (30)	6000	4309	14138
B	130 (30)	2000	1436	4711
C	130 (30)	100	71,8	236
D	45 (10,1)	6000	4309	14138
E	130 (30)	1000	718	2360

^B Tolerancia de la fuerza $\pm 3\%$.

Fuente: ASTM G65 - 04(2010). Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus

Para determinar el peso que se debe colocar sobre la L del brazo, se toma el brazo como un elemento rígido, y se realiza un análisis estático de fuerzas y de momentos, inicialmente se hace un análisis de con el diagrama de cuerpo libre del brazo ecualizador figura 47.

Figura 47 Diagrama de cuerpo libre del brazo.



Fuente: Autores del proyecto.

Se toma el punto de pivote del brazo como el centro de los ejes coordenados X e Y, el análisis del diagrama de cuerpo libre se puede encontrar la siguiente variable

Ecuación 8 Formula del Peso W

$$W = m * g$$

Fuente: <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/masaypeso.htm>

F_t = Fuerza perpendicular entre la rueda y la probeta, la norma ASTM G65 la establece que la máxima fuerza aplicada es de 130 Newton.

W = Peso

m = Masa en kilogramos que los contrapesos.

g = Aceleración de la gravedad equivalente $9,81 \text{ m/s}^2$

Ecuación 9 Sumatoria de fuerzas en Y, sumatoria de momentos.

$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= -W \\ \Sigma M_0 &= 0 \\ \Sigma M_0 &= 0: -(W * 0,508m) * (130N * 0.203) = 0 \\ \therefore W &= \frac{-(130 \text{ N} * 0.203m)}{0.508m} \\ W &= 51.94 \text{ N}\end{aligned}$$

Remplazando en la ecuación 8 se tiene:

$$\begin{aligned}51.94N &= m * 9.81 \frac{m}{s^2} \\ m &= \frac{51.94N}{9.81 \text{ m/s}^2} \\ m &= 5.29 \text{ Kg}\end{aligned}$$

Fuente: Autores del proyecto.

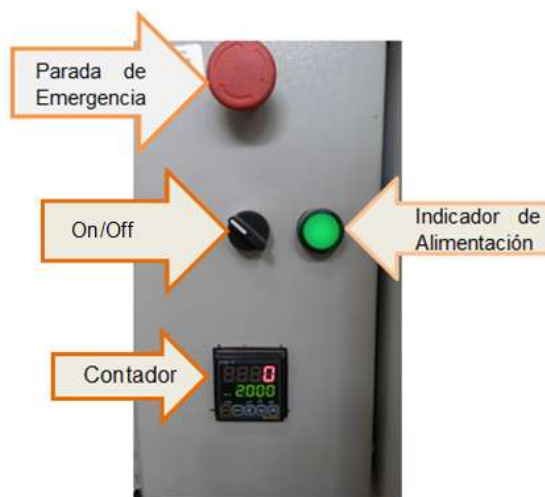
Es decir que para lograr una fuerza de contacto en la muestra de 130 N como lo exige la norma ASTM G65, hay colocar sobre la L del brazo un peso aproximado de 5,3 kg.

Eso equivale a colocar cuatro contrapesos de 1.3 kilogramos.

Y la tolerancia permitida en la fuerza aplicada es de $\pm 3\%$.

En la figura 48, que corresponde al tablero se encuentran las siguientes partes:

Figura 48 Tablero de control.



Fuente: Autores del proyecto.

Parada de Emergencia: De color rojo, ubicado en la parte superior del tablero se usa en caso de que se requiera detener el ensayo por alguna novedad o emergencia, corta directamente la alimentación eléctrica del motor y lo detiene al instante.

Indicador de alimentación: Se enciende en color verde, para indicar que el equipo está recibiendo alimentación eléctrica y que está listo para operar.

On/Off: Perilla gira 45° para darle alimentación eléctrica al motor y ponerlo en marcha.

Contador: Display digital que se encarga mostrar las RPM a las que está programado el motor, y contabiliza cuantas lleva. Y se puede programar las RPM trabaja desde 0001 a 9999 RPM. Las cuales cubren los requisitos de la norma.

En la figura 49, los botones de la parte inferior permiten programar las RPM a las cuales se desea que se detenga el motor.

Figura 49 Display de control.



Fuente: Autores del proyecto.

OUT: Permite pasar de número en número para determinar las RPM que se requiere llegar. De izquierda a derecha.

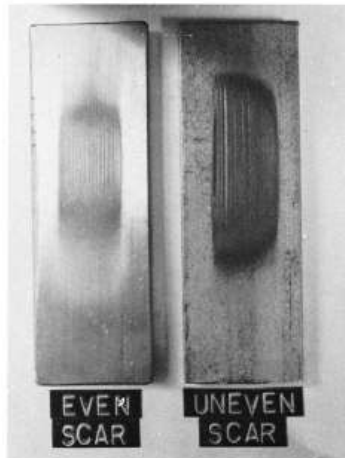
CNT / TMR: Permiten aumentar o disminuir el número que esta intermitente en ese momento para así programar las revoluciones requeridas. Ejemplo: 100 -1237 – 2541 Según se requiera.

MD: Una vez se ha programado el valor de RPM que se desea alcanzar en el ensayo, se oprime MD y este valor queda fijo y determinado para realizar el ensayo.

RST: Reset en caso de estar en trascurso de un ensayo, ya se ha contabilizado determinado número de RPM, pero se requiere volver a contar de cero se oprime RST y el conteo se reinicia a cero.

En la figura 50, tomada directamente de la norma ASTM G65, como punto de referencia visual sobre la huella que deja en la probeta.

Figura 50 Muestra típica de la huella que queda sobre la probeta. Izquierda Correcta. Derecha Incorrecta.



Fuente: ASTM G65 - 04(2010). Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus

De igual manera se hace necesario utilizar esta ecuación para conocer el porcentaje de volumen perdido por la probeta luego de someterla al ensayo.

Ecuación 10 Volumen Perdido

$$Volumen\ perdido\ en\ mm^3 = \frac{masa\ perdida\ (g)}{densidad(\frac{g}{cm^3})} \times 100$$

Fuente: ASTM G65 - 04(2010). Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus

12.7 VALIDACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

Luego de las modificaciones que se realizaron en el equipo de desgaste por abrasión, se hace necesario evaluar mediante pruebas que este se encuentra en funcionamiento, según la norma ASTM G-65.

Para esto se realizaron pruebas del funcionamiento inicial del equipo, donde sometieron al ensayo de abrasión probetas que sirvieron como referente de las mejoras que se debían realizar. Una vez se encontró que las pruebas realizadas después de la reconstrucción de equipo de desgaste están acorde con lo exigido en la norma ASTM G65 se realizaron pruebas para el estudio de “OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO DE UNA ALEACIÓN NI-RESIST-2b ALEADA CON BORO”, en la tabla 12 se muestran los resultados obtenidos en este ensayo.

Tabla 12 Resultados: OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO DE UNA ALEACIÓN NI-RESIST-2b ALEADA CON BORO

No. de probeta	masa inicial m1 (gr)	masa final m2 (gr)	Pérdida de masa (m1-m2) gr	densidad	Perdida de volumen (mm3)
1	156,449	154,568	1,881	7,266	0,258887129
2	164,600	162,591	2,009	7,941	0,252980213
3	154,889	152,626	2,263	7,876	0,287314754
4	163,987	161,863	2,124	7,773	0,273260015
5	162,207	159,992	2,215	7,850	0,282154516
6	164,497	162,424	2,073	7,717	0,268651154
7	158,788	156,956	1,832	7,833	0,233824074
8	164,077	162,088	1,989	7,958	0,249950883
9	168,507	167,615	0,892	7,772	0,114777368
10	162,355	161,445	0,910	7,828	0,116251764
11	164,106	163,176	0,930	7,699	0,120793572
12	163,497	162,503	0,994	7,671	0,129587148
13	162,965	161,994	0,971	7,516	0,12919159
14	165,381	164,412	0,969	7,653	0,12662289
15	159,754	158,872	0,882	7,495	0,11767987
16	163,064	162,129	0,935	7,650	0,122219037
17	149,113	148,601	0,512	7,242	0,070698702
18	163,092	162,420	0,672	7,652	0,087825767

19	161,046	160,488	0,558	7,794	0,071592433
20	162,363	161,790	0,573	7,338	0,078081983
21	151,892	151,320	0,572	7,528	0,075986991
22	164,324	163,798	0,526	7,818	0,067280875
23	158,723	158,192	0,531	7,654	0,069379633
24	162,531	161,836	0,695	7,733	0,089878431
Promedio de pérdida de volumen en %					15,4

Fuente: Caracterización DE UNA ALEACIÓN NI-RESIST-2b ALEADA CON BORO.

Los que se obtuvieron nos muestran que las probetas presentaron una pérdida volumétrica en milímetros cúbicos del 15,4%.

Como se muestra en la figura 51, estas son la huella que dejaba el equipo de abrasión antes de las mejoras realizadas, se puede notar la huella dejada en las muestras carecen de fundamento que tenga valor ingenieril, porque vemos en la huella de los surcos dejados por el mal estado de la rueda volante además las huellas están descentradas lo que denota que tanto el brazo como la boquilla no estaban centrados.

Figura 51 Pruebas Iniciales en el Equipo de Abrasión



Fuente: Autores del Proyecto.

Estos son los resultados obtenidos en el equipo de abrasión cuando la máquina no estaba reconstruida como se puede notar las huellas no son correspondientes a las exigidas por la norma ASTM G65, en las que encontramos fallencias como problemas del vulcanizado de la rueda, el eje del brazo y la boquilla no están centrados, problemas por obstrucción o falta de flujo laminar de arena durante el ensayo entre otros.

En la figura 52 se puede observar las huellas que deja el equipo de abrasión después de su puesta a punto.

Figura 52 Pruebas luego de las modificaciones.



Fuente: Autores del Proyecto.

De igual manera se logró centrar la huella ya que por la mala disposición de los componentes del equipo, inicialmente la huella quedaba ubicada en un costado de la probeta.

Se observa claramente comparándola con la Figura 50, que las pruebas realizadas en el equipo de abrasión, de la Figura 51, la huella en la probeta cumple con lo que establece la norma ASTM G-65 y son consideradas como correctas para su estudio y análisis.

12.8 TAREAS DE MANTENIMIENTO EQUIPO DE ABRASIÓN

Es importante determinar que componentes por su función dentro del ensayo de abrasión, pueden verse más comprometidos, por lo cual se determinaron los cuatro componentes anteriormente relacionados en la tabla 10 del cuerpo del trabajo, y se muestra cómo afecta su función dentro del ensayo y este es el análisis de los resultados encontrados.

Estos son los componentes más críticos dentro de la máquina de abrasión, el análisis de criticidad muestra que, si la rueda no cuenta con una vulcanizada adecuada o fuera de parámetros, según la norma ASTM G65 el ensayo de abrasión pierde veracidad.

- Limpiar la boquilla de agentes externos frecuentemente, permite realizar ensayos de manera adecuada
- Mantener sellado el habitáculo del motor con sensor óptico herméticamente es fundamental para evitar daños en el funcionamiento adecuado de la parte dinámica del ensayo de abrasión.
- El tablero de mando no debería afectar el correcto funcionamiento del equipo de abrasión ya que solo se ve afectado si es manipulado por personas ajenas al laboratorio o personal que desconozca su funcionamiento. En este caso es primordial verificar la programación directamente suministrada por el fabricante.
- Limpiar luego de cada ensayo los excesos de arena que puedan quedar sobre la porta probetas y el habitáculo.
- La norma establece que se deben realizar ensayos de verificación, estos con la finalidad de realizar un control operacional y de resultados del equipo, para este proceso la norma establece un formato para realizar el seguimiento respectivo.
- La forma más clara y directa de determinar el estado del caucho vulcanizado de la rueda, es con la medida de espesor del mismo, que inicialmente es de 12.7 mm, la norma permite realizar un mecanizado en la superficie vulcanizada con la finalidad de dejar nuevamente uniforme la superficie, los parámetros recomendados para realizar el mecanizado son: profundidades de corte de 0.254 mm a 0.762 mm, paso de 25mm/min y velocidad de 200 rpm.
- La verificación del estado del equipo es el principal mantenimiento que se puede realizar, verificar que tenga flujo laminar en la boquilla, que el motor realice su trabajo, que se contabilicen el número de revoluciones que se han realizado.
- Verificar que la rueda vulcanizada permanezca centrada y no produzca desgaste en las paredes las pestañas de sujeción de la probeta. O que realice oscilación durante su funcionamiento.
- Se deben verificar las conexiones eléctricas tanto del tablero de control y el motor eléctrico, esto utilizando un multímetro con el fin de verificar la continuidad y así poder prever una posible falla que se pueda presentar.

12.9 MODO DE OPERAR EL EQUIPO DE ABRASIÓN

Una vez se tiene la muestra o probeta y completamente limpias sin ninguna clase de suciedad o grasa en su superficie y habiéndolas pesado en la balanza analítica con 0.001 g de exactitud en su medición.

Materiales Requeridos: Bata de Laboratorio, Balanza Analítica, Arena Sílice malla 60, guantes de Nitrilo o vaqueta, Tapa Bocas.

Nota: Se debe presionar la Parada de Emergencia en el tablero si se presenta Interrupción en el flujo de arena o se presenta algún accidente.

- Verificar el nivel de arena contenido en la tolva, este debe estar como mínimo 3 cm por encima del punto más bajo de la ranura, ya que si el nivel está por debajo no se puede garantizar que el flujo de arena sea constante durante el ensayo, y esto podría afectar el resultado del ensayo directamente.
- Tomar la muestra o probeta y se ubica en la porta probetas y se ajustan los tornillos de sujeción.
- Ubicar las pesas en la L del brazo, estar pendiente que el brazo este asegurado por el pasador, para no permitir que la porta probetas toque la rueda vulcanizada.
- Se deben programar las revoluciones a las cuales se va a realizar el ensayo, para el caso 2000 RPM Figura 53.

Figura 53 Programación de RPM en el Display.



Fuente: Autores del proyecto.

Nota: Se debe tener en cuenta que la norma da unos tiempos promedios en los que se debe realizar el ensayo, dependiendo el procedimiento que se utilice. Pero en este caso como lo establece la norma prima el número de las revoluciones que da la rueda, sobre el tiempo o cualquier otro parámetro que se analice.

- La rueda no debe girar hasta que el flujo de arena se regule de forma laminar. Luego se debe girar el interruptor en el panel frontal On/Off hacia la derecha para encender el motor, se debe dejar caer el brazo suavemente sobre la

rueda para comenzar el ensayo. Tener en cuenta que no esté activada la parada de emergencia.

- Se debe cerrar inmediatamente las compuertas para evitar la polución que se genera durante el ensayo.
- Cuando se cumpla el número de revoluciones establecido y se detenga el motor, se debe girar el interruptor On/Off para apagar el equipo, se debe detener el flujo de arena, pivotar el brazo en el seguro, y retirar la probeta.
- Luego de terminar el ensayo es necesario tener precaución ya que esta durante el ensayo aumenta la temperatura. Se deben utilizar guantes para la manipulación de la probeta.
- Se debe limpiar la probeta y pesarla en la balanza analítica con 0.001 g o de 0.0001 g de exactitud.
- Se retira la probeta de porta probetas y se compara que sea uniforme como la Figura 46 del cuerpo del documento.
- Se debe limpiar por completo el habitáculo y la arena que se haya podido acumular.
- Desconectar el fluido eléctrico, cerrar el tablero de control y el habitáculo.

Para mayor información sobre, el modo de operación del equipo de desgaste abrasivo consultar el anexo B.

13 CONCLUSIONES

- Las pruebas realizadas para validar el buen funcionamiento de los equipos, tuvieron resultado satisfactorio, en cuanto a que todas las probetas en los dos ensayos presentaron pérdida de masa en el ensayo de corrosión y pérdida de volumen en el ensayo de abrasión, los equipos se utilizaron para el desarrollo de otros proyectos de grado de la Universidad Libre.
- Las pruebas realizadas en la Cámara Salina, evidenciaron que las actividades de mantenimiento mencionadas permiten que el equipo trabaje de forma correcta, al realizar estas actividades no se presentaron percances durante el desarrollo de los ensayos.
- Las pruebas realizadas en el equipo de Desgaste por Abrasión, evidenciaron que las actividades de mantenimiento y recomendaciones mencionadas permiten que el equipo trabaje de forma correcta, porque el resultado obtenido en las muestras, fueron huellas como las exige la norma ASTM G65.
- Se logró evidenciar que la Cámara Salina es susceptible a las condiciones ambientales, no toma el mismo tiempo alcanzar los 35°C de operación del ensayo en la cámara, en horas del mañana que al finalizar la tarde.
- Las pruebas realizadas en los ensayos de abrasión permitieron evidenciar la repetitividad del ensayo y mejora en el funcionamiento que tiene la máquina, porque en las 24 probetas que se probaron de un mismo material, la pérdida volumétrica de las muestras es similar en todas.
- Al reprogramar los sistemas eléctricos y mecánicos en la Cámara Salina, se logró un equilibrio en las variables que se deben controlar, todo dentro de los rangos permisibles de la norma, principalmente en presión (10 psi constantes y temperatura 35°C)
- Como parte del proyecto se deja establecidas las tareas de mantenimiento y guías de uso que se deben realizar en cada uno de los equipos, con el fin de prolongar su vida útil y que no se generen daños en los equipo por la mala manipulación, esta información está contenida y detalladamente en los anexos de este proyecto.

14 RECOMENDACIONES

- Cambiar la ubicación de la cámara salina, al estar tan cerca de le equipo de abrasión, genera mucha polución y material particulado, lo que ocasiona que esta polución contamine el aire que ingresa al compresor por el filtro, además este polvo obstruye los sistemas internos de la cámara salina y principalmente se contamina la solución salina almacenada en el tanque.
- El compresor es un elemento de vital importancia para la cámara salina, el compresor craftsman asignado al equipo, fue el que durante las pruebas realizadas presento mayores dificultades. Se recomienda contemplar la opción de adquirir un compresor de tornillo de trabajo industrial y que se ubique en un lugar libre de polvo. Para que sirva como suministro para los demás equipos de los laboratorios de ingeniería.
- Se recomienda adquirir un equipo propio de destilar agua para la cámara salina, que esté a disposición en los laboratorios de ingeniería, el agua destilada es esencial para preparar la solución salina, depender de la producción de agua destilada del laboratorio de química puede llegar a retrasar el ensayo.
- No se debe utilizar la arena más de 3 veces en el equipo de desgaste abrasivo, y garantizar que no tenga objetos que puedan obstruir el flujo de arena, ya sean tornillos, tuercas, etc.
- Se debe re vulcanizar el alma de la rueda volante cada vez que el diámetro total de la rueda en su punto más bajo sea inferior a 215.9 mm, realizar ensayos con el caucho muy desgastado no garantiza un correcto ensayo de abrasión.
- La arena a la cual hace relación la norma ASTM G 65 AFT 50/70 para el desarrollo de las pruebas, puede llegar a ser una de las mayores dificultades, porque debido al alto costo que tiene este insumo. Por tal razón se puede utilizar Arena de Sílice malla 60 ya que es más asequible y reduce significativamente los costos.
- Se recomienda que la arena que ya se ha utilizado más de 3 veces, no sea desechada, esta se puede usar para la fabricación de moldes de fundición.

15 BIBLIOGRAFÍA

- [1] ACERO LIZCANO, Lucia María; CASTRILLÓN RODRÍGUEZ, Gina X. Determinación de la velocidad de corrosión de un acero AISI 1020 en presencia de mezcla ácida salmuera /H₂S/ CO₂ en un sistema a escala piloto, usando técnicas electroquímicas. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander. 2004. 105p.
- [2] ADAMIAK, M; GÓRKA, J. y KIK, T. Comparison of abrasion resistance of selected constructional materials. En: Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Vol. 37. p. 375 – 380.
- [3] ASTM B117. Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.
- [4] ASTM G65 - 04(2010). Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus.
- [5] BAYER G. Raymond. Mechanical Wear Fundamentals Testings. 2 ed. New York: Marcel Dekker Inc. 2004. 396 p. ISBN 0-8247-4620-1.
- [6] CHÁVEZ GOMES, Luis E. Medición de la velocidad de corrosión mediante técnica de ruido electroquímico en aceros inoxidables 304 y 316L. Maestro en Tecnología Avanzada. Altamira, Tamaulipas. Instituto Politécnico Nacional CICATA- IPN. 2007. 82p.
- [7] CHÁVEZ AGUIRRE, Jhonny E. Diseño y construcción de una maquina para medición del desgaste por abrasión según la norma ASTM G-65. Tesis previa a obtener el título de Ingeniero Mecánico. Sangolqui, Ecuador. Universidad de las Fuerzas Armadas. 2015. 252 p.
- [8] CRAFTSMAN, Owner Manual. Air Compressor, Safety Guidelines, Assembly, Operation, Maintenance. Hoffman Estates, IL 60179 USA.
- [9] GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. 1 Ed. Madrid.: Díaz de Santos, 2013. 320 p. ISBN 9788479785772.
- [10] HINCAPIE CAMPOS, Williams S. Resistencia al desgaste abrasivo de recubrimientos comerciales metaceram 25050 y proxon 21071 producidos con el sistema de proyección térmica por llama. Tesis de Maestría. Bogotá, Colombia. Universidad nacional de Colombia. 2013. 162 p.
- [11] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de Tesis, Trabajos de Grado y otros Trabajos de Investigación. NTC 1486. Bogotá D.C.: 2008. 42 p.
- [12] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Procedimiento para el ensayo en cámara salina. NTC 1156. Bogotá D.C.: 1998.
- [13] JAIMES, Victor. Abrasive wear assessment of X-70 steel and polyurethane on modified dry/sand rubber wheel apparatus. Tesis de Maestría. Edmon, Alberta. University of Alberta. 2013. 179 p.
- [14] KUMAR, M; GUPTA, R.C. Abrasive wear characteristics of carbon and low alloy steels for better performance of farms implements. En: J. Mater. Sci. Technol. Noviembre, 1995 vol. 11. p. 91 – 96.

- [15] LAVERDE, Víctor H. Diseño y fabricación de una cámara salina para realizar análisis de corrosión en materiales. Trabajo de grado Ingeniero Macatronic. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- [16] LOBO PICON, Jorge A; NAVAS MANTILLA, Heidy R; APARICIO CASTILLO, Andrés. Diseño detallado de una cámara salina para la valoración de componentes aeronáuticos. Proyecto de grado para Ingeniería Aeronáutica. Bogotá, Colombia. Universidad San Buenaventura. 2006. 420p.
- [17] MARULANDA, José L; ZAPATA MENESES, Alberto y ESTRADA, Carlos E. Construcción de una máquina para ensayo en desgaste abrasivo según norma técnica Astm g-65. En: Scientia et Technica. No. 41 Mayo de 2009. Universidad Tecnológica de Pereira. P. 373 – 378.
- [18] MONTGOMERY, Douglas. Diseño y análisis de experimentos. 2 ed. México DF. Limusina S.A. 2004. 692 p. ISBN 968-18-6156-6.
- [19] MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento, planeación, ejecución y control. 1 Ed. Alfaomega, 2009. 528 p. ISBN 978-958-682-769-0.
- [20] PÉREZ QUIROGA, Jacob D. Estudio de los parámetros de desgaste abrasivo del bronce SAE 40 y SAE 64 bajo la norma ASTM G-65 y su influencia en la perdida de volumen. Trabajo para obtener el título de Ingeniero Mecánico. Ambato, Ecuador. Universidad Técnica de Ambato. 2014. 230 p.
- [21] RAMÍREZ MONTENEGRO, Luis F. Aleaciones especiales aplicables a las condiciones ambientales en la zona del puerto de Guayaquil. Tesis de grado Ingeniero Mecánico. Guayaquil, Ecuador. Escuela superior politécnica del litoral. 2009. 97 p.
- [22] RUIZ CARREÑO, Juan C; MONTAÑEZ GÓMEZ. Robinson. Validación de la repetibilidad y la reproducibilidad del ensayo bajo carga monotónica en mezclas asfálticas. Proyecto de Grado de ingeniero Civil. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander. 2011. 140 p.
- [23] SALVADOR QUIÑONES, Marcelo F. Estudio de la influencia de un recubrimiento epoxico poliamida en la velocidad de corrosión de tubería de transporte de crudo grado API 5L X70. Tesis de Master en transporte de petróleo y sus derivados. Quito, Ecuador. Escuela Politécnica Nacional. 2012. 83 p.
- [24] SERVIN, D. ESTEVEZ, M. RANGEL, D, *et al.* Desarrollo de una cámara salina instrumentada para pruebas de corrosión en tiempo real. En: SOMI Congreso de instrumentación Ingeniería térmica y de Fluidos MEG 18103. (18: 16 – 18, octubre: Querétaro, México). 2003. 7 p.
- [25] SIEMENS. Sinamics G110. Introducción de Servicio (resumen). Edición 11/04. Germany. 2004.
- [26] STENNER Pumps. Manual de Instalación y mantenimiento. Dosificadores Peristálticos. Jacksonville, Florida 32246 USA.
- [27] SOTO TRINIDAD, Juan; ECHAVARRÍA AMENGUAL, Juan y CAMILO CARAM, Guillermo. Diseño de una Máquina Para Ensayos de Abrasión Seca & Abrasión Húmeda. En: 11th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. (Aug. 14-16, 2013 Cancún, México).

- [28] ZELINKA L, Samuel; RAMMER R Douglas. Review of Test Methods Used to Determine the Corrosion Rate of Metals in Contact With Treated Wood. USDA. 2005. Reporte Técnico General.

ANEXO A CÁMARA SALINA

A continuación, se muestra un paso a paso, del modo de operar la cámara salina para realizar un ensayo de neblina salina, de manera adecuada sin afectar el equipo por mala manipulación, además se muestra las verificaciones que se deben realizar, antes de usar la cámara salina y algunas recomendaciones o posibles fallas que puede llegarse a presentar durante el ensayo de niebla salina

Antes de realizar un ensayo de neblina salina se debe verificar.

Tabla 1 Manual de mantenimiento de la cámara salina.

Actividad	Componente
1 Verificar que el desfogue no tenga obstrucciones de ningún tipo ya que por acá saldrán los residuos del condensado de la neblina durante el ensayo , en caso contrario limpiar o retirara los artefactos ajenos al equipo que obstruyan el desagüe, este se encuentra ubicado en la parte trasera inferior de la cámara, limpiar con alcohol cada 30 días el desfogue de la cámara para remover residuos de sal que quedan adheridos	
2 Verificar el ducto de salida, esta se encarga de la salida de los gases residuales del ensayo de neblina salina, esta salida no debe estar obstruida se encuentra ubicada dentro de la cámara, en la parte posterior. Remover con alcohol cada 30 días los sedimentos que se forman en la parte inferior del ducto de salida	

<p>3 Verificar salida de del sello de agua, este se encuentra ubicada al levantar la tapa de la cámara, en la esquina trasera izquierda, esta salida no debe tener suicidad o obstrucción alguna, se encarga de la evacuación del agua residual del sello de agua una vez se termina un ensayo de cámara salina, limpiar con alcohol cada 30 días la salida del sello de agua para remover residuos que se adhieran a esta salida</p>	
<p>4 Verificar el interior de la cámara que debe estar limpio y libre de residuos de sal o agua de ensayos anteriores, además de los componentes como la resistencia ubicada en el fondo de la cámara y los termómetros ubicados uno en el fondo y dos en la pared posterior al lado derecho e izquierdo, deben estar libre de suciedad o residuos, cada 30 días limpiar con alcohol la superficie de las resistencia y de los termómetros para retirar residuos de sal</p>	
<p>5 Verificar la conexión de la solución salina que viene de la bomba peristáltica al atomizador esta se encuentra en el fondo de la cámara al lado derecho no debe presentar fugas y estar firmemente sujeta</p>	





<p>6 Verificar la conexión de aire comprimido que viene del compresor al atomizador se encuentra ubicada en el fondo de la cámara al lado izquierdo no debe tener fugas y estar firmemente sujeta</p>	
<p>7 Verificar conexiones del atomizador, la línea café es de solución salina, la línea azul es el aire comprimido, estas líneas deben estar fijas al atomizador y no tener suciedad o fugas, desconectar las líneas u limpiarlas con agua cada 30 días para retirar residuos de sal que se puedan formar durante los ensayos</p>	
<p>8 Verificar la salida del atomizador se encuentra ubicada en la parte central de la cámara al fondo del tubo, la salida del atomizador no debe tener ninguna obstrucción o material extraño limpiar el tubo de salida de la neblina cada 30 días</p>	

Fuente: Autores del Proyecto




Una vez realizadas las actividades anteriormente mencionadas se procede a la operación del equipo.

Tabla 2 Manual de operación de la cámara salina




ACTIVIDAD	IMAGEN
<p>1 Preparación de probetas o muestras, antes de realizar el ensayo se deben pesar en una balanza digital con 3 cifras significativas todas las probetas por individual y hacer un registro del peso inicial de cada una, las probetas deben estar completamente limpias, se recomienda limpiarlas con alcohol antes de ingresarlas a la cámara</p>	
<p>2 Preparación del agua destilada, el agua destilada se solicita en el laboratorio de química de la Universidad Libre sede bosque popular, el agua destilada, en la imagen se muestra el equipo desionizador de agua</p>	
<p>3 Preparación de la solución salina, cuya relación en peso es de 95% agua destilada y 5% sal con nivel de impurezas menor al 0,03%, para efectos de la práctica se puede usar la sal común de consumo humano, esta sal pasa por los procesos de purificación suficientes para reducir el nivel de impurezas a menos del 0,03%, batir la solución salina hasta que este homogenizada</p>	
<p>4 Depositar la solución salina dentro del tanque de la cámara, que está ubicada al costado izquierdo del equipo, se colocan aproximadamente tres cuartas partes del total del tanque, verificando que este fijo el tamiz sobre la boca del ducto del tanque, este conduce la solución salina directamente a la válvula solenoide, no olvidar ubicar un paño o microfibra para que sirva de filtro y evite el paso de impurezas.</p>	

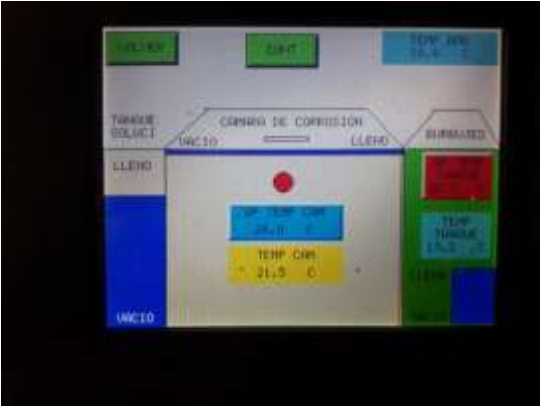
<p>5 Se realiza la conexión de la línea de aire comprimido que viene del compresor a la cámara, como lo muestra la imagen la línea de aire comprimido de la cámara es la de color azul, se acopla con la salida de compresor.</p>	<p>Línea de Aire que conecta a la Cámara.</p>  <p>Línea de aire conectada al compresor.</p> 
<p>6 Alimentación eléctrica, se conecta la cámara a la toma trifásica que está ubicada en la pared trasera de la cámara salina al costado izquierdo. Probar las salidas de las conexiones eléctrica con tester para verificar si hay energía eléctrica</p>	<p>Alimentación eléctrica trifásica de la Cámara Salina.</p>  <p>Cámara salina con alimentación eléctrica</p> 

<p>7 Depositar muestras o probetas dentro de la cámara, para esto se debe apoyar en las rejillas de acrílico que están dentro de la cámara. Recordar realizar un mapa o diagrama con el cual se pueda identificar plenamente cada una de las probetas que ya se pesaron.</p>	
<p>8 aplicar sello de agua, al terminar la programación del ensayo y empieza el tiempo de exposición a la neblina salina se aplica un sello de agua como lo muestra la imagen, esto para garantizar la hermeticidad de la cámara y para mantener la temperatura de 35°C durante todo el ensayo.</p>	<p>Sello de agua</p> 
<p>9 La bomba peristáltica que se encuentra al interior del habitáculo donde están los componentes de la cámara salina, el acceso es por una puerta al costado derecho de la cámara.</p> <p>Se debe ajustar el dial de la bomba entre 0,5 y 1, esto con el fin que se dosifique la cantidad justa de niebla al interior de la cámara salina. De no estar ajustada de manera correcta puede ocurrir que solo se atomice aire o que por la boquilla salga mayormente agua y quede retenida en el tubo. Produciendo una descompensación.</p> <p>Se debe sujetar muy bien el cuerpo de la bomba para proceder a girar el dial</p>	<p>Bomba peristáltica</p> 

<p>Cada 30 días se debe retirar la tapa frontal del bomba peristáltica y limpiar su interior como mucha precaución con agua destilada y un trapo de seda preferiblemente.</p>	<p>Dial en posición incorrecta</p>  <p>Dial en posición correcta</p> 
<p>10 Verificar posición de interruptores de alimentación eléctrica, están ubicados al lado derecho de la bomba peristáltica al interior del habitáculo, todos los interruptores deben estar en posición (On) es decir hacia arriba como lo muestra la imagen. Cada 30 días se debe verificar la continuidad de los interruptores con un multímetro midiendo la resistencia de los polos ubicados al inferior de cada taco haciendo masa con el cuerpo de la cámara salina</p>	
<p>11 Abrir llave de refrigeración de agua al tanque humidificador, esta llave está ubicada en la pared posterior de</p>	

<p>la cámara salina, con una manguera transparente que va directa al tanque humificador ubicado al lado izquierdo de la bomba peristáltica, la llave no se abre totalmente solo medio giro a la derecha, esto para garantizar un flujo mínimo de agua pero que sea constante, esta llave debe mantenerse abierta durante todo el ensayo</p> <p>Al no dejar la llave del tanque humificador abierta se genera una alerta como, lo muestra la imagen dentro de la cámara que detiene el ensayo de cámara salina, cada 30 días se debe desconectar la manguera de suministro del humificador y lavarla con agua para evitar que suciedad o residuos sólidos llegue al tanque humificador</p>	<p>Línea de transparente lleva el agua fría al tanque humificador. Llave debe estar abierta medio giro</p>  <p>Alerta por falta de agua en el tanque humificador.</p> 
<p>12 Encendido de la cámara salina, una vez se hayan realizado los pasos mencionados anteriormente se procede a encender cámara salina para esto se gira a la derecha la perilla roja ubicada en la parte frontal derecha de la cámara salina. Si el tablero no enciende al volver la perilla de encendió, verificar la alimentación con un multímetro del cable principal</p>	<p>Cámara apagada</p> 

	<p>Cámara encendida</p> 
<p>13 Regular la presión de trabajo del ensayo a 10 psi, una vez encendido el compresor, en la parte inferior de la perilla de encendido se encuentra el manómetro de presión, se hace girar la perilla a la derecha hasta que el manómetro indique 10 PSI.</p>	
<p>14 Una vez se enciende la cámara y está regulada la presión, el equipo realizar una revisión interna de sus sistemas, para dar paso a la pantalla principal de control.</p> <p>Como lo muestra en la imagen, al acceder al menú de Config, se podrán observar las temperaturas del ambiente, del interior de la cámara y del tanque humidificador.</p> <p>El valor de la temperatura ambiente, temperatura de la cámara y la temperatura del tanque humidificador muestra +++, esto indica que está calculando las temperaturas.</p>	<p>Al encender la cámara salina se presiona botón Config.</p> 


<p>15 Una vez la cámara salina realiza su análisis interno, establece el valor de la temperatura de ambiente, de la cámara y del tanque humificador, estas son las condiciones iniciales de la cámara salina, y se debe proceder a programar el ensayo de niebla salina</p>	
---	--

Fuente: Autores del Proyecto

Cuando la cámara salina estabiliza sus condiciones iniciales de operación se procede a programar el ensayo de neblina salina, la norma ASTM B117 determina que las condiciones del ensayo a las cuales se deben realizar el ensayo:

- Temperatura: 35°C
- Presión: 10 a 25 psi
- Tiempo: Lo determina la persona que realiza la el ensayo según características del material a analizar.

Tabla 3. Programación del ensayo de neblina salina

ACTIVIDAD	IMAGEN
<p>1 La programación del ensayo se inicia con el escalonamiento de temperatura cada dos grados desde la temperatura inicial de la cámara hasta llegara a 35°C.</p> <p>Se presiona el botón SP TEM CAM de color azul, teniendo en cuenta la TEMP CAM de recuadro de color amarillo se programa la temperatura dos °C por encima.</p>	<p>Oprimir SP TEM CAM</p> 

En este caso por ejemplo la TEM CAM es de 21,5°C por lo cual se programará temperatura 23°C y se presiona Enter.

Escribir temperatura deseada de 23°C en el teclado y se presiona Enter



Y volverá a la pantalla de programación, pero con SP TEM CAM de 23°C, que fue la programada anteriormente, de esta manera cuando se dé inicio al proceso la resistencia de la cámara salina empieza a calentar el interior de cámara hasta que al TEMP CAM del recuadro amarillo alcanza la temperatura de 23°C.

Tablero de Config con la nueva temperatura de 23°C.



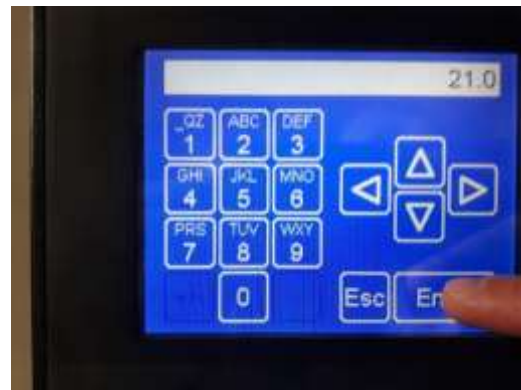
2 Programación de temperatura del tanque humificador, de manera alterna como se aumenta la temperatura de la cámara, se debe ir aumentando la temperatura del tanque humificador. Para esto se presiona el botón SP TEM TANQUE de color rojo se programará una temperatura superior en 1°C a la temperatura del botón azul de TEMP TANQUE

Programación de la temperatura del tanque humificador.



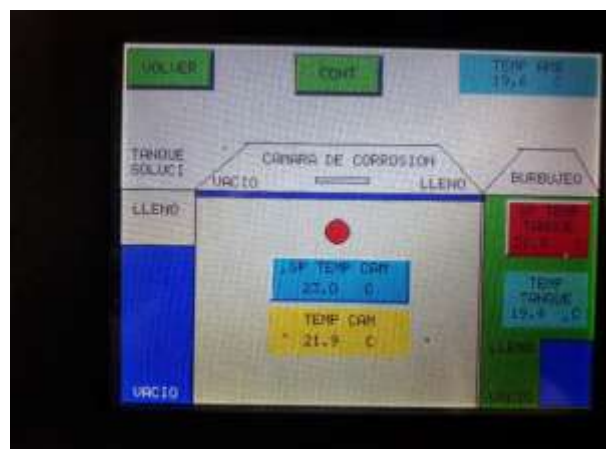
Una vez se presiona el botón rojo de

SP TEM TANQUE se ingresa nuevamente al teclado, donde se ingresará la nueva temperatura para este caso debe ser de 21°C y se presiona Enter.



Al presionar Enter se vuelve al tablero Config. Y se encuentra la SP TEM TANQUE a 21°C, temperatura a la cual llegara que se pueden verificar en el recuadro azul de TEM TANQUE cuando se dé inicio al proceso, una vez estas temperaturas sean iguales, se repetirá este proceso aumentando la temperatura de 1°C en un 1°C, hasta lograr una temperatura TEM TANQUE de 27°C y esta se dejara constante hasta terminar el ensayo

Pantalla Config con la temperatura del tanque humidificador programada.



3 Una vez se programan las temperaturas de la cámara salina SP TEM CAM y la temperatura del tanque humidificador TEMP TANQUE, se da volver, para regresar a la pantalla inicial y entrar al menú ASTM B117.



En esta pantalla podemos dar inicio al ensayo luego de programar las temperaturas en el paso anterior.

Presionar sobre el botón rojo ON/OFF al costado izquierdo, para iniciar la operación del equipo, el rectángulo antes rojo ahora será de color verde.



En este momento ya comenzara a operar el sistema, la niebla al interior de la cámara y aumentando la temperatura de manera paulatina.

En esta pantalla ASTM B117 podremos encontrar datos como: Fecha, Hora, Temperatura Ambiente, Temperatura de la cámara, Tiempo de ensayo alcanzado y dos botones de on/off y de pausa

Una vez el equipo llega las temperaturas de cámara y tanque que se habían programado en el punto anterior, se procede a poner Pausa (Ver Imagen) se da Volver, se ingresa al menú Config, y se programan nuevamente las temperaturas, recordar que para temperatura de la cámara y del tanque es de Max. 2°C, en el siguiente escalón de las temperaturas. Esto se debe realizar hasta los 35°C de la cámara y 27 °C. del tanque.

Regresar al menú ASTM B117 y presionar nuevamente Pausa, el equipo continuara operando.



<p>Este proceso descrito se debe realizar hasta que se logre llegar a las temperaturas estipuladas de la norma de $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, en la temperatura de cámara y 27°C en la temperatura del tanque.</p>	
<p>4 En la pantalla ASTM B117, al tener los dos botones circulares, de la parte inferior izquierda en verde, la cámara está funcionando correctamente y el ensayo está en proceso, en caso de ser necesario se pueden realizar pausas para verificar las líneas de aire o agua, para esto se oprime el botón PAUSA el tiempo del ensayo se detiene. Se recomienda no dejar pausada la cámara salina por más de una hora ya que al no estar atomizando niebla aumenta la temperatura en la cámara salina, por encima del rango establecido en la norma.</p>	
<p>5 Extracción de probetas, finalmente una vez cumplidas las horas del ensayo determinadas, se sacan las probetas y se pesan para determinar la pérdida de masa en cada muestra</p>	<p>Muestras corroídas</p> 

Fuente: Autores del proyecto

Al terminar un ensayo de cámara salina, para apagar el equipo solo se requiere, en el menu ASTM B117 apagar con el Boton ON/OFF, quedando Rojo

nuevamente, Pausa y ON/OFF deben quedar de color Rojo. Se regresa al menu Config y se dejan las temperaturas SP TEM CAM en 23 °C y la SP TEM TANQUE en 20°C, se puede dejar unos 10 minutos aproximadamente la camara abierta para que se estabilice un poco sus temperaturas y luego si apagarla con la perilla en la parte frontal del equipo.

Se deben realizar la respectiva limpieza del equipo luego de realizar el ensayo, y asegurarse que este la llave del agua que va al tanque humidificador cerrada, desconectar la camara y suspender el suministro de aire.

ANEXO B EQUIPO DE ABRASIÓN

A continuación, se muestra un paso a paso, del modo de operar el equipo de desgaste abrasivo para realizar un ensayo de desgaste abrasivo, de manera adecuada sin afectar el equipo por mala manipulación, además se muestra las verificaciones que se deben realizar, antes de usar el equipo de desgaste abrasivo y algunas recomendaciones o posibles fallas que puede llegarse a presentar durante el ensayo de desgaste abrasivo.

Al realizar un ensayo de desgaste abrasivo se de tener en cuenta las siguientes pautas

Tabla 1 Manual de mantenimiento del equipo desgaste abrasivo.

ACTIVIDAD	IMAGEN
1 Verificar nivel de abrasivo en la tolva, para que durante un ensayo de desgaste el equipo no se quede sin arena, se verifica que el nivel de abrasivo sea visible dentro de la ranura de la tolva, la medida mínima para realizar un ensayo completo lo muestra la flecha en la imagen, 3 cm sobre el punto más bajo de la ranura. Limpiar la punta del cono para que no se quede material que pueda obstruir el paso de abrasivo, antes de cada ensayo	
2 Verificar conexiones de los bornes del variador de velocidad como los que muestra la imagen, los conectores son cable 2 borne 3 y cable 1 borne 6, verificar continuidad de los bornes haciendo más con el cuerpo del equipo midiendo resistencia deberá sonar el multímetro, en caso contrario verificar conexión de los cables, verificar estas condición cada 30 días si el equipo no ha sido usado	

<p>3 Verificar las conexiones de los cables 3, 4, 5 y 6 van a las terminales del contador digital como lo muestra la imagen, verificar la continuidad encada unos delos polos hacer masa con el cuerpo del equipo, si hay continuidad el multímetro debe mostrar 12V de alimentación, verificar esta condición cada 30 días si el equipo no ha sido usado</p>	
<p>4 Conectar el equipo de desgaste abrasivo, a una toma trifásica</p>	<p>Conexión eléctrica</p> 
<p>5 Para operar el equipo, verificar que los interruptores estén en posición (On) es decir hacia arriba.</p>	

6 Al conectarla se encenderá el led verde en el tablero de mandos para indicar que el equipo está recibiendo alimentación eléctrica y está listo para operar, si el led verde no se enciende verificar continuidad entre el polo positivo del led y hacer masa con el cuerpo del equipo si no hay continuidad verificar estado del cable de alimentación, revisar esta condición cada 30 días si el equipo no a sido usado



Fuente: autores del proyecto




De igual manera no se debe olvidar, verificar si hay alguna clase de obstrucción en la línea de transporte de la arena o en la boquilla misma.

Verificar las conexiones del motor, para prevenir accidentes y no esté trabajando de manera forzada o con algún ruido extraño.

Al terminar estas revisiones de rutina antes de iniciar un ensayo el led del tablero de mandos nos luz verde para dar inicio al ensayo de desgaste abrasivo.

Estas operaciones se deben ejecutar antes de realizar cualquier ensayo.

Tabla 2 Manual de operación del equipo de desgaste abrasivo

ACTIVIDAD	IMAGEN
<p>1 Apertura de la porta probetas, la porta probetas tiene una pared móvil ajustada con tres tornillos de cabeza de estrella, que se deben soltar para colocar las probetas, dentro del equipo de abrasión esta la llave para soltar los tornillos</p>	
<p>2 Preparación de las probetas o muestras; según la norma ASTM G 65 las probetas deben cumplir con unas dimensiones específicas: alto de 3" ancho 1" y espesor o profundo de 0,5" a 0,2" las muestras deben estar paralelas por todos sus lados, y deben ser pesadas antes del ensayo con una balanza digital de 3 cifras significativas y deben ser limpiadas.</p>	
<p>3 Colocar las muestras en el porta probetas, se colocan dentro del porta probetas, si la probeta tiene un espesor inferior al 0.5" se pueden colocar calzas metálicas o de madera lo importante es que la muestra que totalmente fija.</p>	

4 Ajustar la muestra y las calzas en caso de ser necesario con la pared móvil del porta probetas, atornillando con la llave dispuesta para el equipo de abrasión, como lo muestra la imagen



Una vez atornillada la pared móvil del porta probetas, verificar que las muestras quedaron totalmente fijas.



5 Determinar el peso de los contra pesos, según la norma se determina que en el ensayo se debe aplicar una fuerza normal que depende del procedimiento a utilizar. Para 130 N, se utiliza una masa 5,3 kg en los contrapesos.

Para esto contamos con 5 pesas de 2,5 lb y 5 contrapesos 0,3 lb, lo que significa que debemos colocar de contrapesos los 5 contrapesos de 2,5 lb para lograr una fuerza normal de la muestra contra la rueda vulcanizada de 130 N, todo lo anterior se debe realizar con el brazo pivotado en el seguro como se muestra en la imagen.



6 Programar variador de velocidad,
Dentro de los parámetros de la norma ASTM G 65 se realizan ensayos a 6000, 2000, 1000 y 100 rpm. El variador de velocidad con que cuenta el equipo de abrasión es Simenes G110, y está en la capacidad de producir la velocidad angular que se pide para el ensayo.

Los números de la parte inferior, indica al número de RPM que voy realizar el ensayo, los números en la parte superior son las RPM alcanzadas.



7 Programación del contador,
Para ingresar un dato de RPM para un ensayo se procede así,
Pulsando OUT se ingresa a los números de color verde saltando de cifra en cifra con cada vez que pulso este botón
Pulsando CNT Y TMR se puede aumentar o disminuir el número de la cifra que se ha seleccionado.
Pulsando MD se fija la cifra de rpms que se quieren alcanzar y se muestran en el contador de color verde
Pulsando RST, se resetea la programación, el motor se detiene al momento de pulsar este botón y se devuelve el contabilizador de velocidad cero, para volver a empezar.
El controlador de velocidad está programado para alcanzar las velocidades que requiere para la norma ASTM G65 y se detenga en cero

Si se desea realizar otro tipo de programación específica se puede ingresar a la siguiente dirección electrónica y realizar la descarga gratuita del manual de funcionamiento para consultar, el lenguaje de programación que maneja el variador de velocidad Simenes G110
[http://www.tecnical.cat/PDF/Siemens/MECATRONICA/manual sinamics G110.pdf](http://www.tecnical.cat/PDF/Siemens/MECATRONICA/manual_sinamics_G110.pdf)



8 Flujo de abrasivo, una vez se han determinado las RPM del ensayo, la masa de los contrapesos y la probeta ya está ajustada en la porta probetas se puede dar inicio al ensayo.

Se abre la llave de suministro de abrasivo ubicada en la parte superior del equipo de desgaste y se verifica visualmente que la salida de la arena por la boquilla sea en un flujo laminar.

Llave cerrada



Llave abierta



Flujo laminar



9 Se gira la perilla negra 45° ala derecha en el tablero de mandos y se da inicio al giro del motor eléctrico, el contador digital empieza a contar la velocidad lograda y una vez logre llegar a las RPM programadas envía la señal para detener el motor

La perilla al lado derecho indica que el motor está girando a razón de lo que va marcando el contador.

Motor detenido






Empieza giro de motor



10 Inmediatamente después de girar la perilla negra en el tablero de mandos, se deja caer suavemente el brazo pivotado con los contrapesos hasta que la muestras entre en contacto con la rueda vulcanizada



<p>Con esto se da inicio al ensayo de abrasión</p>	<p>Ensayo de desgaste abrasivo en proceso</p> 
<p>11 Se cierran las puertas el habitáculo y se espera a que el ensayo termine, es decir hasta que el motor alcance las RPM programadas.</p> <p>Por la ventana se puede verificar que se mantenga el flujo de arena.</p>	
<p>12 Extracción de probetas, una vez se detenga el motor, se abren las puertas del habitáculo, se cierra la llave de suministro de abrasivo y se coloca el brazo en su pivote nuevamente, con la llave se sueltan los tornillos de la porta probetas y se saca la muestra, esta se limpia y se pesa para determinar la pérdida volumétrica de muestra después del ensayo</p>	<p>Limpieza de muestras</p> 

<p>Se recomienda hacer este último paso con guantes de nitrilo, debido a que la probeta después del ensayo va estar caliente y usar también tapabocas ya que al abrir el habitáculo puede salir polvo del abrasivo.</p>	<p>Verificación de la huella</p> 
<p>13 Finalmente se extrae la arena que se usó, esto se realiza abriendo la escotilla en forma de cono que está en la parte inferior del equipo, tener presente que la misma arena puede ser usada máximo en 3 ensayos abrasivo</p>	

Fuente: Autores del proyecto

Para terminar el ensayo por desgaste abrasivo se procede a cerrar el habitáculo, se devuelve la perilla negra del tablero de mandos 45° a la izquierda y se bajan los interruptores que están en la parte superior del variador de velocidad y final mente se desconecta de la alimentación eléctrica.

Se deben medir las probetas y tomar los respectivos datos.

ANEXO C LISTA DE CHEQUEO

	Formato verificación del estado de los equipos (cámara salina y equipo de abracion)				
	Laboratorio		Nombre de la practica		
	Equipo		Operario		
	Fecha		Estudiante		
Numero	Check List			POSEE	CUMPLE
1	Verificación de alimentación eléctrica				
2	Verificar líneas neumáticas				
3	Verificación líneas hidráulicas				
4	Verificar conexiones eléctricas				
5	Verificar limpiezas de ductos de desfogue o salida				
6	Verificar estado de accesorios adicionales de los equipos				
7	Verificar limpieza de los componentes como lo especifica el manual de mantenimiento				
	Verificación física del estado del equipo				
1	Golpes (especificar lugar)				
2	Abollanaduras (especificar lugar)				
3	Estado de la pintura externa e interna				
4	Rayones (especificar lugar)				
5	Reparaciones(especificar lugar)				
OBSERVACIONES					
Nombre operario					
Nombre estudiante					